

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences
de l'Université de Paris

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Joseph Henri BIGAY

Licencié ès Sciences

Astronome à l'Observatoire de Lyon

1^{re} THÈSE : Photométrie photographique des nébuleuses extra-galactiques.

2^e THÈSE : Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 19 mai 1951 devant la Commission d'Examen :

MM. F. CROZE,	<i>Président.</i>
A. DANJON	} <i>Examineurs</i>
A. ARNULF	

SERVICE DES PUBLICATIONS DU C. N. R. S.

13, Quai Anatole France

PARIS 7^e

1951

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences
de l'Université de Paris

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Joseph Henri BIGAY

*Licencié ès Sciences
Astronome à l'Observatoire de Lyon*

1^{re} THÈSE : Photométrie photographique des nébuleuses extra-galactiques.

2^e THÈSE : Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 19 mai 1951 devant la Commission d'Examen :

MM. F. CROZE,	<i>Président.</i>
A. DANJON	} <i>Examineurs</i>
A. ARNULF	

SERVICE DES PUBLICATIONS DU C. N. R. S.

13, Quai Anatole France

PARIS 7^e

1951

UNIVERSITÉ DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen. M. A. CHATELET

PROFESSEURS

G. JULIA	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	LAFFITE	T	Chimie (P. C. B.).
A. DENJOY	T	Théorie des fonctions et Topologie.	FAVARD.		Calcul des probabilités et Physique-Mathématique.
L. LUTAUD	T	Géographie physique et géologie dynamique.	COULOMB	T	Physique du globe.
E. DARMOIS.	T	Enseignement de Physique.	M ^{lle} COUSIN.	T	Biologie animale (P. C. B.).
Robert LÉVY	T	Physiologie comparée.	CHRÉTIEN.		Chimie (P.C.B.).
Henri VILLAT	T	Mécanique des fluides et applications.	DRACH		Zoologie.
M ^{me} RAMART-LUCAS .	T	Chimie organique.	KASTLER.		Physique.
FOCH.	T	Mécanique physique et expérimentale.	CHATELET	T	Arithmétique et théorie des nombres.
PAUTHENIER	T	Électrotechnique générale.	EPHRUSSI.	T	Génétique.
Louis DE BROGLIE. .	T	Théories physiques.	WURMSER	T	Biologie physico-chimique.
JOB	T	Chimie générale.	BAUER.	T	Chimie-Physique.
PRENANT	T	Anatomie et Histologie comparées.	RIVIÈRE		Géologie (P.C.B.).
COMBES.	T	Physiologie végétale.	GAUCHERET.		Biologie Végétale (P.C.B.).
GARNIER	T	Géométrie supérieure.	LUCAS		Physique.
Joseph PÉRÈS.	T	Mécanique rationnelle.	A. THOMAS		Évolutions des êtres organisés.
HACKSPILL	T	Chimie minérale.	ARNULF		Optique appliquée.
LAUGIER	T	Physiologie générale.	MAX MORAND.		Physique.
TOUSSAINT	T	Technique aéronautique.	SOLEILLET		Physique.
M. CURIE.	T	Physique (P. C. B.).	FORTIER	T	Mécanique expérimentale des fluides.
G. RIBAUD	T	Hautes températures.	DANJON	T	Astronomie.
CHAZY	T	Mécanique analytique et mécanique céleste.	FROMAGEOT	T	Chimie Biologique.
CROZE	T	Physique théorique et physique céleste.	LAPORTE.	T	Physique générale et Radio-activité.
DUPONT	T	Théories chimiques.	JANET		Mathématiques générales.
VALIRON	T	Calcul différentiel et calcul intégral.	PETIT	T	Biologie maritime.
BARRABÉ	T	Géologie structurale et Géologie appliquée.	QUENEY	T	Météorologie et dynamique atmosphérique.
VAVON	T	Analyse et mesures chimiques.	GALLIEN		Biologie animale (P.C.B.).
G. DARMOIS.	T	Calcul des probabilités et Physique mathématique	EICHORN		Biologie végétale (P.C.B.).
Jacques BOURCART. .	T	Géographie physique et Géologie dynamique.	DE CUGNAC.		Biologie végétale (P.C.B.).
AUBEL	T	Chimie biologique.	LAVAL		Physique (P.C.B.).
M ^{me} JOLIOT-CURIE. .	T	Physique générale et Radio-activité.	M ^{lle} CAUCHOIS.		Chimie Physique.
PLANTEFOL	T	Botanique.	THELLIER.		Physique du Globe.
CABANNES.	T	Recherches physiques.	AUDUBERT		Électrochimie.
GRASSÉ.	T	Zoologie (Évolution des êtres organisés).	L'HÉRITIER		Génétique.
PRÉVOST	T	Chimie organique.	GRIVET.	T	Radio Électricité.
BOULIGAND	T	Application de l'analyse à la Géométrie.	PONCIN		Mécanique des fluides.
CHAUDRON	T	Chimie appliquée.	THIRY	T	Mécanique appliquée.
WYART.	T	Minéralogie.	DUBREIL		Mathématiques générales.
TEISSIER	T	Zoologie.	QUELET.		Chimie (P. C. B.).
MANGENOT	T	Biologie végétale	CAGNIARD.		Géophysique appliquée.
P. AUGER.	T	Physique quantique et relativité.	CHAMPETIER.		Chimie appliquée.
MONNIER		Physiologie générale.	CUVILLIER.		Géologie structurale et Géologie appliquée.
PIVETEAU.	T	Géologie.	JUNG		Pétrographie.
ROCARD	T	Physique.	TRILLAT.		Physique (P. C. B.).
H. CARTAN	T	Mathématiques générales.	WIEMANN.		Chimie (P. C. B.).
SCHAEFFER	T	Physiologie des fonctions.	LICHNEROWICZ.		Mathématiques.
			JACQUINOT		Physique (P. C. B.).
			VASSY		Physique de l'Atmosphère.
			DESTOUCHES.		Théories Physiques.
			PRUVOST.	T	Géologie.
			AMIEL		Chimie (P. C. B.).
			HOCART		Minéralogie.
			MACHEBOEUF		Microbiologie.
			J.-P. MATHIEU		Physique (P. C. B.).
			COUTEAUX		Biologie animale (P. C. B.).
			MAY		Biologie animale (P. C. B.).

Secrétaire. Ch. MONIER.



PHOTOMÉTRIE PHOTOGRAPHIQUE DES NÉBULEUSES EXTRAGALACTIQUES

par Joseph Henri BIGAY

(Observatoires de Lyon et de Haute-Provence)

SOMMAIRE. — J'ai appliqué la méthode de FABRY à la détermination des magnitudes photographiques globales de 175 nébuleuses extragalactiques. Chacune d'elles a été mesurée sur 3 ou 4 clichés indépendants avec une précision moyenne d'environ $\pm 0,1$ magn. en général.

Une séquence photographique de 40 nébuleuses groupées dans l'amas de Virgo et de magnitudes comprises entre 9,2 et 13,2 a été établie.

L'utilisation de diaphragmes d'ouvertures croissantes a permis de mettre en évidence la contribution des régions périphériques et d'obtenir ainsi les magnitudes totales.

La comparaison des mesures « FABRY » avec celles obtenues par la méthode de la chambre à court foyer montre que ces dernières sont, non seulement très imprécises (écarts individuels dépassant parfois 1,5 magn.), mais entachées d'une erreur systématique grave (de l'ordre de 1 magn. dans le cas des nébuleuses brillantes). Les mesures effectuées par la méthode extra-focale se révèlent trop faibles de 0,4 magn. environ. Par contre, les magnitudes photoélectriques, lorsqu'elles ont été mesurées avec des diaphragmes d'ouverture assez grande (ce qui est rare), et celles déduites des profils photométriques sont en très bon accord avec celles que j'ai obtenues par la méthode de FABRY.

J'ai pu évaluer les magnitudes absolues M de 64 nébuleuses résolues. La distribution des fréquences en fonction de M est bien représentée par une courbe de GAUSS ; la fréquence maximum correspond à $M = -15$. Or la magnitude absolue moyenne admise à la suite des travaux de HUBBLE est $-14,2$. Une telle retouche conduirait à doubler l'éclat moyen des nébuleuses, donc leur masse moyenne, et par suite à augmenter d'une quantité appréciable les évaluations de la densité ρ de l'espace.

La relation linéaire vitesses radiales-magnitudes apparentes est bien vérifiée pour les 47 nébuleuses pour lesquelles on connaît les vitesses de récession et les magnitudes FABRY.

On ne peut songer à appliquer la méthode de FABRY qui est trop lente, pas plus d'ailleurs que les autres méthodes correctes, à l'étude de milliers de nébuleuses. J'ai cherché s'il ne serait pas possible de mesurer rapidement leurs magnitudes en les comparant à une séquence de nébuleuses standard telle que celle établie dans l'amas de Virgo. On a essayé la méthode extra-focale, celle de la SCHRAFFIER-KASSETTE et surtout la méthode de SCHILT. Cette dernière paraît donner les meilleurs résultats. J'en ai fait une première application en déterminant les magnitudes de 151 nébuleuses sur des clichés obtenus avec un télescope de SCHMIDT. Pour les 38 objets mesurés à la fois par la méthode de FABRY et par celle de SCHILT, on ne constate pas d'erreur systématique et l'écart moyen est de l'ordre de $\pm 0,2$ magn. La précision atteinte paraît donc suffisante en vue des travaux statistiques.

INTRODUCTION

L'étude de la structure du système métagalactique et des problèmes cosmologiques connexes est fondée pour une large part sur la distribution spatiale des galaxies. Pour connaître celle-ci, il est nécessaire de mesurer, avec toute la précision possible, les magnitudes apparentes globales d'un grand nombre de nébuleuses. Ces déterminations, dont l'importance apparaît ainsi fondamentale, ont donné lieu, depuis une vingtaine d'années, à d'abondants travaux principalement aux États-Unis.

Les méthodes généralement utilisées peuvent être classées en quatre groupes :

1° Comparaison directe des nébuleuses à des étoiles standard sur des clichés obtenus avec des objectifs de très courtes distances focales : (Observatoires de HARVARD et de LUND).

2° Comparaison des images nébulaires et stellaires sur des clichés extra-focaux : (HUBBLE et HUMASON, SEYFERT, KEENAN).

3° Mesures photoélectriques : (STEBBINS et WHITFORD).

4° Magnitudes déduites des profils photométriques : (HUBBLE, REDMAN et SHIRLEY, de VAUCOULEURS, HOLMBERG).

Ces méthodes, dont certaines reposent sur des principes incertains, ont conduit très souvent leurs auteurs à des résultats peu concordants, montrant ainsi qu'il restait beaucoup à faire dans la photométrie des nébuleuses, dans l'ensemble bien plus difficile et très en retard par rapport à la photométrie stellaire proprement dite.

Dans ce mémoire, j'ai essayé d'apporter une contribution à ces recherches. J'ai utilisé pour cela la méthode de la photographie du cercle oculaire, imaginée il y a une quarantaine d'années par Charles FABRY et qui n'avait pas encore été appliquée à la photométrie des nébuleuses. Cette méthode donne en effet le moyen de rattacher correctement la magnitude totale d'un astre à diamètre apparent sensible au système des magnitudes stellaires internationales.

Dans la dernière partie, j'ai effectué des comparaisons photométriques de nébuleuses entre elles par différentes méthodes. Il semble qu'au prix d'un certain nombre de précautions expérimentales, la méthode de SCHILT soit susceptible de pouvoir fournir rapidement un grand nombre de mesures systématiques dans une échelle correcte. Un gros travail d'observation nocturne en coupole, de mesure des clichés, puis de réduction a été nécessaire pour accomplir le programme que je m'étais fixé.

Je désire exprimer :

— mon affectueuse gratitude à Monsieur Jean DUFAY, Directeur des Observatoires de Lyon et de Haute-Provence, qui m'a suggéré ces recherches et facilité

leur réalisation tant par ses conseils éclairés que par la bienveillance avec laquelle il a mis à ma disposition les ressources instrumentales des Observatoires qu'il dirige.

— ma reconnaissance à Monsieur Charles FEHRENBACH, Directeur de l'Observatoire de Marseille et Directeur-Adjoint de l'Observatoire de Haute-Provence, pour ses conseils et l'obligeance avec laquelle il m'a facilité l'usage des télescopes de 80 cm et de 120 cm et du matériel auxiliaire de laboratoire dont j'avais besoin, au cours de mes séjours à Saint-Michel.

— mes sincères remerciements :

— à Madame LAUGIER, Astronome à l'Observatoire de Nice, qui a bien voulu me prendre 2 clichés extra-focaux au grand astrographe ZEISS de son établissement.

— au personnel de l'Observatoire de Haute-Provence et en particulier à M. André DUFLLOT pour les deux clichés qu'il m'a pris à la chambre ZEISS, puis mesurés au microphotomètre LALLEMAND.

PREMIÈRE PARTIE

Photométrie photographique des nébuleuses extragalactiques par la méthode de Fabry

1. PRINCIPE.

La méthode du cercle oculaire imaginée vers 1910 par Charles FABRY [1] a été souvent décrite et utilisée depuis [2 et 3]. Elle permet de comparer d'une manière correcte les éclaircissements produits par un astre de diamètre apparent sensible (nébuleuse) et par une source ponctuelle (étoile de comparaison). En voici très brièvement le principe :

Un petit objectif O_2 de courte distance focale est placé un peu en arrière du plan focal F de l'objectif O_1 d'une lunette astronomique ou d'un télescope de manière à constituer un système afocal (fig. 1. a) ; ce petit objectif permet de photographier sur la plaque P le grand objectif uniformément éclairé par un astre, ponctuel ou non, situé dans la direction de son axe optique. Quels que soient la forme et le diamètre de l'astre étudié, on obtient toujours sur la plaque de petites plages circulaires s (cercle oculaire de la combinaison optique O_1 - O_2), de même diamètre et de noircissement bien uniforme dont on peut mesurer avec précision la densité. Un diaphragme D placé exactement dans le plan focal de O_1 permet d'isoler approximativement les rayons provenant de l'objet observé.

On fait sur une même plaque des poses de même durée, sur la nébuleuse, sur quelques régions du ciel nocturne au voisinage immédiat de celle-ci et sur une ou

deux étoiles de comparaison. Un étalonnage réalisé au moyen de poses auxiliaires au laboratoire, permet de tracer la courbe de gradation de la plaque, courbe reliant la densité optique du noircissement à l'éclairement correspondant. La mesure des densités des plages au microphotomètre permet ensuite de déterminer les magnitudes photographiques des nébuleuses.

2. DISPOSITIF INSTRUMENTAL.

a) *Recherche des conditions instrumentales les plus favorables :*

Appliquée à la photométrie stellaire, la méthode de FABRY ne présente pas de difficultés particulières et elle permet d'atteindre une grande précision : $\pm 0,02$ magn. dans le cas des étoiles brillantes [4]. En ce qui concerne les nébuleuses, astres peu lumineux et de très faible brillance, il serait vain d'espérer une telle précision, à cause surtout de l'importante correction due au ciel nocturne.

Pour aborder la photométrie des nébuleuses par la méthode de FABRY, il était nécessaire de réaliser au mieux toutes les conditions instrumentales capables de favoriser ce travail délicat. Déjà FEHRENBACH [5] avait fait construire un appareillage et mis au point une technique pour observer par cette méthode les amas globulaires. Son expérience et ses conseils m'ont été très profitables.

Pour ne pas être conduit à des temps de pose trop longs qui rendraient la méthode impraticable, il est indispensable de concentrer la lumière reçue par le grand objectif O_1 dans un cercle oculaire s de très petite dimension. On sait [6] que le diamètre du cercle oculaire est égal à :

$$\frac{D}{g}$$

où D est le diamètre du grand objectif et g le grossissement $\frac{F}{f}$ de la combinaison formée par O_1 et O_2 . On aura donc avantage à choisir F très grand et f très petit.

En outre, dans le cas des astres à diamètre apparent sensible, l'éclairement e du cercle oculaire est donné par la relation :

$$e = T. B. \Omega$$

où T est le facteur de transmission de l'instrument, B la brillance de la nébuleuse à laquelle vient s'ajouter celle du ciel nocturne et Ω l'angle solide dans lequel sont contenus les rayons émergents de l'objectif O_2 (fig. 1b). Il est donc nécessaire de donner une très grande ouverture relative à O_2 . Enfin cet objectif doit avoir un diamètre suffisant pour ne pas diaphragmer les images des nébuleuses formées au foyer de O_1 .

En résumé, les 2 objectifs doivent présenter les caractéristiques suivantes :

1° Grande distance focale et grand diamètre pour O_1

2° Très grande ouverture numérique et assez grand diamètre linéaire pour O_2 .

b) *Instruments utilisés :*

Le choix du grand objectif était lié à celui des instruments existant à l'Observatoire de Lyon. En fait, tous les clichés relatifs à ce travail ont été obtenus aux

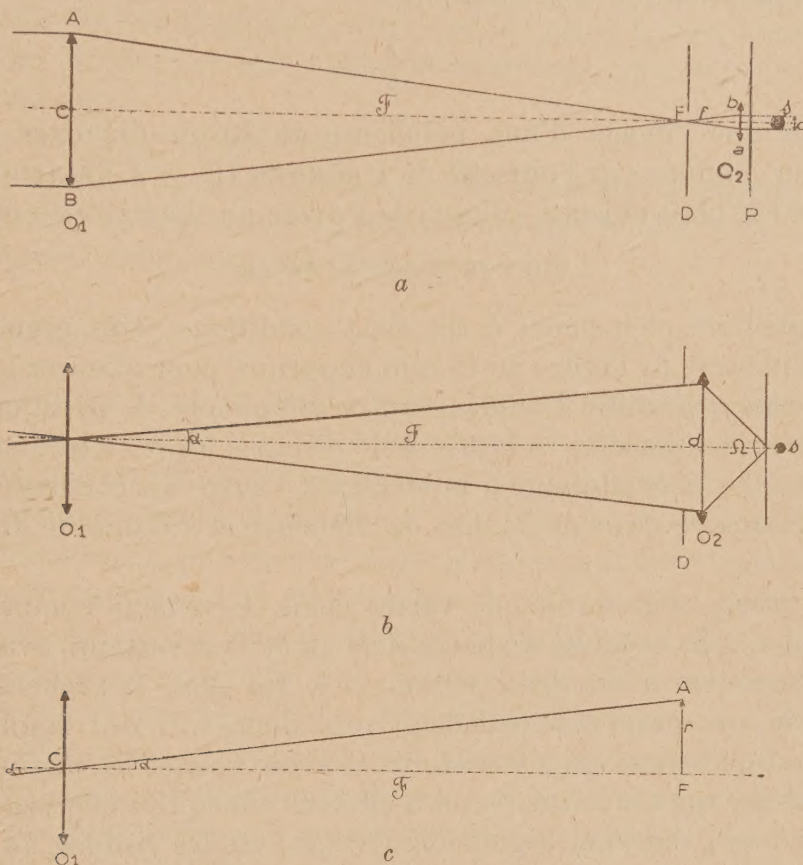


FIG. 1. — Principe du photomètre photographique de Ch. FABRY :

- a) Cas d'une étoile.
- b) Cas d'un astre à diamètre apparent sensible.
- c) Champ du photomètre.

équatoriaux BRÜNNER ($O = 16$ cm ; $F = 233$ cm) et COUDÉ ($O = 32$ cm ; $F = 775$ cm) et occasionnellement au télescope de 120 cm de l'Observatoire de Haute-Provence ($F = 720$ cm).

Choix du petit objectif :

Précisons tout d'abord la condition relative à son diamètre linéaire.

Pour mesurer la magnitude globale d'une nébuleuse, l'image qu'en donne le grand objectif doit être au plus égale au diamètre utile du petit objectif afin que la

nébuleuse entière concoure à l'éclairement du cercle oculaire. Si r est le demi-diamètre linéaire de O_2 et F la distance focale de O_1 , on a fig. 1 c)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{F}$$

ou, avec une approximation très suffisante :

$$\alpha = \frac{r}{F}.$$

Ainsi, pour que l'image d'une nébuleuse de 20' de diamètre apparent ou 6×10^{-3} radian donnée par l'objectif du BRÜNNER ($F = 2\,330$ mm) ne soit pas diaphragmée par le petit objectif, celui-ci doit avoir un diamètre au moins égal à :

$$2\,330 \times 6 \times 10^{-3} \sim 14 \text{ mm.}$$

Afin de satisfaire pleinement à ces deux conditions : très grande ouverture numérique et diamètre de l'ordre de 15 mm nécessaire pour mesurer la plupart des grandes nébuleuses, j'ai utilisé 2 condenseurs de microscope. L'un est un condenseur d'ABBE de 24 mm de diamètre et 11,3 mm de distance focale (à sec, car il est construit pour travailler normalement à immersion), l'autre un condenseur achromatique et aplanétique NACHET de 23 mm de diamètre et 7,6 mm de distance focale (à sec).

Ces condenseurs sont formés de verres épais, fortement bombés et ne sont vraisemblablement pas exempts d'aberrations ; il était nécessaire, avant de les utiliser, de les soumettre à un essai préliminaire. En effet, si l'éclairement sur la plaque ne varie pas proportionnellement aux diamètres des diaphragmes, des erreurs systématiques peuvent s'introduire et venir fausser les mesures.

Pour contrôler ces condenseurs, on a effectué sur le ciel nocturne (éclairé par un croissant de lune), dans une région dépourvue d'étoiles visibles, au voisinage du pôle, une série de poses de même durée, en employant successivement et dans un ordre arbitraire, les différents diaphragmes ; le cliché fut étalonné au sensitomètre à tubes. La réduction des mesures de densité des plages a montré qu'avec les 2 condenseurs, l'éclairement reste bien proportionnel à l'ouverture des diaphragmes jusqu'à 13,7 mm de diamètre. Avec le diaphragme suivant, de 14,7 mm, l'éclairement obtenu est légèrement inférieur à la valeur calculée et il n'augmente plus avec les diaphragmes de diamètre supérieur.

Ces condenseurs qui ont été construits pour travailler normalement à immersion ne pouvaient évidemment être utilisés à pleine ouverture, à sec, car dans ce cas, les rayons marginaux ne sortent plus.

Au cours des mesures photométriques effectuées avec ces 2 objectifs, on s'est, en principe, arrêté au diaphragme de 13,7 mm, celui de 14,7 mm n'ayant servi qu'occasionnellement.

d) Rôles des diaphragmes :

S'il est indispensable que le condenseur admette la totalité de l'image de la nébuleuse à mesurer, il est souvent nécessaire de réduire son ouverture au moyen de diaphragmes. Sans cette précaution, la brillance du ciel nocturne rendrait absolument impossible la mesure des nébuleuses de petit diamètre apparent. J'ai été amené à employer des diaphragmes très petits : jusqu'à 2 ou 3 mm de diamètre ; le temps de pose est alors considérablement augmenté, mais sans excéder jamais une dizaine de minutes.

e) Description des photomètres :

Les très grandes ouvertures relatives des condenseurs qui exigent une mise au point très précise et très stable ainsi que leurs très faibles distances frontales, ont rendu difficile la construction des photomètres.

PHOTOMÈTRE I :

Le condenseur ABBE est monté dans un collier cylindrique en laiton, fileté pour la mise au point au pas de 0,5 mm. Il se visse dans une pièce portée par une plaque rectangulaire qui constitue le fond d'une boîte plate destinée à recevoir le châssis. La plaque photographique de format 9×12 cm placée dans un châssis d'aluminium complètement ouvert du côté de la gélatine peut être déplacée longitudinalement devant le condenseur au moyen d'une tige filetée. On a défini rigoureusement le plan de glissement de la couche sensible au moyen de 3 petites billes d'acier. Ces billes sont serties à l'extrémité de 3 vis disposées à 120° sur une circonférence de 30 mm de diamètre concentrique au condenseur. L'affleurement des billes a été soigneusement réglé pour que la plaque soit bien perpendiculaire à l'axe optique. Une lame de ressort presse légèrement le châssis, par le dos et applique l'émulsion contre les 3 billes. Ce photomètre m'a permis de tirer les premiers clichés, mais il n'avait pas été réalisé mécaniquement avec assez de soin pour être d'un fonctionnement toujours très satisfaisant. De plus, l'emploi d'un châssis non étanche à la lumière présente de sérieux inconvénients.

PHOTOMÈTRE II :

J'ai fait monter de manière un peu différente le condenseur achromatique et aplanétique dans le photomètre II. La plaque photographique est placée dans un châssis en acier inoxydable parfaitement étanche à la lumière et de construction très soignée (LE BRUN). Il est porté par un chariot massif qui glisse longitudinalement sur une platine bien dressée. La translation s'effectue par l'intermédiaire d'une vis au pas de 1 mm manœuvrée par une manivelle. Le chariot est déporté latéralement de 10 mm par rapport à l'axe optique ce qui permet, en tournant la plaque de 180° dans son plan, de disposer une deuxième ligne de plages parallèlement et à

20 mm de la première. Il est possible ainsi de loger jusqu'à 220 plages sur un seul cliché de format 9×12 cm (planche I).

Une glissière fraisée dans une plaque de laiton faisant corps avec le photomètre et qu'on amène exactement dans le plan focal du grand objectif reçoit les diaphragmes ; leur centrage par rapport à l'axe optique est réalisé à 0,1 mm près. Une autre glissière est utilisée pour placer éventuellement des filtres colorés. Un obturateur permet de contrôler la longueur des poses à une fraction de seconde près.

Ce photomètre bien construit mécaniquement, d'un emploi commode, m'a donné entière satisfaction.

Les plaques photographiques employées :

Comme on désirait déterminer les magnitudes photographiques, il était nécessaire d'utiliser des émulsions dites « ordinaires » c'est-à-dire dont la sensibilité spectrale ne dépasse guère 5000 Å. Je disposais de la plaque française « Superfulgur » de GUILLEMINOT, de sensibilité élevée et de la plaque américaine EASTMAN-KODAK « 103 a 0 » satisfaisant sensiblement à la loi de réciprocité et déjà 2 fois plus sensible que la Superfulgur pour des temps de poses de quelques minutes, son grain est plus fin, mais elle est un peu moins contrastée. Au cours de ce travail, j'ai utilisé de préférence la plaque « 103 a 0 », n'employant la Superfulgur que lorsque je manquais de plaques EASTMAN.

3. ÉTALONNAGE PHOTOMÉTRIQUE.

a) *Généralités :*

La méthode généralement employée pour le tracé de la courbe de noircissement consiste à étalonner au laboratoire chaque cliché photométrique au moyen d'une série de poses auxiliaires de même durée au cours desquelles on fait varier seulement les éclairagements, d'une manière connue. On opère autant que possible dans les mêmes conditions que pour les poses sur le ciel. Après développement, on mesure les densités des plages correspondant à chacun des éclairagements connus et l'on construit la courbe de noircissement à temps de pose constant. Pour cela, on porte en abscisses les logarithmes des éclairagements, ou les magnitudes, et en ordonnées les densités. La courbe ainsi obtenue fait connaître instantanément, par interpolation, les différences de magnitudes des sources à comparer en fonction des densités des plages photométriques mesurées sur le cliché.

b) *Procédés de gradation employés :*

Mes premiers clichés ont été étalonnés avec un coin photométrique « Calmels » longuement employé et soigneusement étudié par H. GROUILLER [4]. J'ai ensuite réalisé un sensitomètre à tubes qui, après plusieurs modifications et améliorations, a fini par me donner entière satisfaction. J'ai d'ailleurs souvent utilisé simulta-

nément les 2 procédés d'étalonnage, ce qui a permis un contrôle réciproque et la redétermination de la constante du coin.

Le sensitomètre à tubes : Le principe en est très simple : une plaque métallique, percée de trous bien circulaires, de diamètres différents et mesurés avec exactitude, est éclairée très uniformément par l'intermédiaire d'un diffuseur. Ces trous jouent le rôle de sources auxiliaires qui impressionnent la plaque à étalonner : les éclairagements et par suite les densités des plages de gradation sont fonction des diamètres des trous.

Le modèle que j'ai réalisé comprend 12 tubes cylindriques de 105 mm de longueur et 10 mm de diamètre intérieur, disposés suivant une circonférence de 58 mm de diamètre. La plaque tournée vers la source lumineuse porte les 12 trous « sources » bien centrés par rapport aux tubes. Les diamètres de ces trous sont compris entre 1,297 mm et 3,460 mm, ce qui correspond à une différence de magnitudes extrêmes de 2,13. L'autre plaque est percée de 12 trous égaux de 2,5 mm, la surface sensible de la plaque photographique vient s'appliquer contre elle.

Pour réduire les erreurs systématiques, un certain nombre de précautions importantes ont été prises :

1° L'éclairage des trous « sources » doit être parfaitement uniforme. Pour obtenir à coup sûr ce résultat, le sensitomètre portant la plaque à étalonner tourne lentement pendant la pose autour de l'axe de symétrie des 12 tubes.

2° Tous reflets à l'intérieur des tubes doivent être évités ; ceux-ci ont été peints avec un noir très mat contenant beaucoup de noir de fumée ; de plus, un diaphragme disposé dans chaque tube arrête le peu de lumière parasite qui pourrait encore subsister.

3° Afin de compenser au mieux les erreurs dues aux inégalités de sensibilité locale de la plaque, ces trous ont été distribués dans l'ordre arbitraire suivant : 1-6-10-2-7-4-9-12-3-11-5 et 8 (voir planche I).

c) *La source lumineuse et le filtre :*

Position du problème :

On sait que le facteur de contraste γ des émulsions photographiques varie avec la longueur d'onde effective de la source qui les a impressionnées. Il en résulte que la courbe de noircissement change de forme et surtout de pente avec cette longueur d'onde. Il est donc important d'étalonner les clichés avec une source lumineuse artificielle dont la courbe d'énergie se rapproche le plus possible de celle des objets célestes à étudier. Dans ce travail de photométrie photographique des nébuleuses, le problème a été simplifié en ce sens qu'on avait affaire à des astres de la même classe spectrale : G, exceptionnellement F.

D'une manière générale, si on appelle B_λ la brillance énergétique spectrale d'une nébuleuse ou d'une étoile de comparaison filtrée par une atmosphère pure ($\zeta -$

45° environ) et T_λ le facteur de transmission de l'instrument, le flux d'énergie qui impressionne la plaque photographique s'exprime par :

$$(1) \quad W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_\lambda \cdot T_\lambda \cdot d\lambda.$$

Comme le sensitomètre à tubes est neutre, le problème consiste à trouver :

1° Une source artificielle d'étalonnage, dont la brillance énergétique spectrale sera B'_λ après la traversée des diffuseurs intercalés entre la lampe et la plaque photographique.

2° Un filtre de facteur de transmission T'_λ de manière que l'égalité suivante soit satisfaite :

$$(2) \quad B_\lambda \cdot T_\lambda = K \cdot B'_\lambda \cdot T'_\lambda.$$

K étant une constante indépendante de λ

Dans le cas particulier des nébuleuses et des étoiles de comparaison, choisies dans la même classe spectrale, le premier membre de l'égalité (2) est indépendant de λ et un seul filtre est nécessaire.

Réalisation pratique :

Pour effectuer l'étalonnage avec le sensitomètre à tubes au moyen de poses parfois très courtes — 1 minute — il faut disposer d'une source assez intense. Après quelques essais, on a choisi une lampe dite « Norma » à filament de tungstène boudiné de la Société Auto-Lampes (55 volts ; 0,6 ampère). Par suite du voltage élevé, l'alimentation n'a pas été faite avec des accumulateurs mais sur le secteur. La température de couleur de la lampe a été évaluée à 3190° K.

L'appareil d'étalonnage complet comprend 3 parties montées sur un banc d'optique : la source lumineuse, le diffuseur et le sensitomètre. Cet appareil est placé dans une pièce obscure, loin des murs, pour éviter autant que possible les reflets parasites.

La *lampe* est dans une boîte métallique cubique percée d'une ouverture circulaire centrée sur l'axe horizontal passant par le filament. Les rayons lumineux rencontrent un verre dépoli mince qui diffuse une première fois la lumière puis le filtre dont il sera question plus loin et enfin le diffuseur. La lampe peut être déplacée par glissement sur le banc d'optique le long d'une règle graduée. Deux glissières verticales peuvent recevoir l'une des diaphragmes destinés à réduire l'éclairement dans le cas des poses longues, l'autre des écrans colorés pour l'étalonnage éventuel de clichés colorimétriques. En utilisant des diaphragmes de 1 à 18 mm de diamètre et en faisant varier la distance source-diffuseur, la durée des poses d'étalonnage peut être comprise entre 10 secondes et 30 minutes.

Le *diffuseur* par transmission est un verre plaqué d'opale. Il est monté au centre d'un grand panneau en contreplaqué peint en noir mat et destiné à arrêter toute lumière parasite.

Le *sensitomètre* est à l'autre bout du banc d'optique à la distance fixe de 50 cm du diffuseur ; il peut tourner autour de l'axe horizontal passant par le filament de la lampe.

Réalisation du filtre :

Je me suis inspiré d'un procédé décrit par Ch. FABRY [7] qui recommande d'affaiblir la partie rouge du spectre d'une source artificielle au moyen d'une solution de sulfate de cuivre ammoniacale (eau céleste) de concentration convenable, procédé employé également par J. DUFAY [3 ; p. 24]. J'ai essayé empiriquement diverses concentrations et adopté finalement la suivante :

Sulfate de cuivre	0, 5 g.
Ammoniaque à 22°	100 cm ³ .
Eau q. s. p.	1 litre.

Cette solution placée dans une cuve à faces parallèles de 13 mm d'épaisseur s'est très bien conservée pendant 3 ans et m'a servi dans tous les étalonnages.

On a construit diverses courbes de noircissement de la même plaque, Superfulgur, étalonnée au *sensitomètre* à tubes, poses 2 minutes et obtenues :

- a) dans les conditions habituelles : cuve à eau céleste et tension 55 volts ;
- b) avec la lumière du soleil filtrée par une atmosphère pure ($\zeta = 45^\circ$) et l'équatorial COUDÉ suivi du photomètre II ; la lumière était diffusée par le plafond de plâtre de la salle d'observation rendue obscure en fermant les ouvertures par des rideaux noirs ;
- c) avec la lampe habituelle, tension 55 volts mais sans la cuve filtrante.

Les deux premières courbes sont très sensiblement identiques tandis que la pente de la 3^e (sans cuve) est un peu plus faible.

Le soleil de type spectral dG2 ayant sensiblement la même courbe d'énergie que les nébuleuses, en moyenne dG5, ainsi que celle des étoiles de comparaison habituellement employées, on en conclut que la source d'étalonnage a été réalisée d'une manière correcte.

Tous les clichés photométriques ont été développés au pinceau, 5 minutes à 18° C avec du révélateur BALDET ou KODAK D 19 neuf et fraîchement préparé.

L'étalonnage de la plaque impressionnée avait été effectué soit immédiatement après l'achèvement des poses sur le ciel, soit le plus souvent dans la journée qui avait suivi ; dans ce dernier cas, le développement a toujours été différé de 48 heures au moins.

4. OBSERVATIONS ET MESURES.

a) *Étoiles de comparaison :*

On a choisi chaque fois que cela a été possible des étoiles de comparaison de la classe G ou à défaut F ; les sources lumineuses comparées ayant ainsi sensiblement

la même composition spectrale, on s'est libéré de la correction de couleur et on a éliminé à peu près complètement l'effet de Purkinje photographique, source d'erreurs importantes en photométrie photographique hétérochrome.

Pour les nébuleuses du champ général réparties sur toute la sphère céleste — zone d'absence exceptée — les étoiles de comparaison ont été prises directement dans la séquence polaire (voir tableau I) :

TABLEAU I

Liste des étoiles de comparaison choisies dans la séquence polaire

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
DÉSIGNATION	m_{pg} RÉVISÉE	I. C. RÉVISÉ	TYPE SPECTRAL D'APRÈS SCHWASSMANN	TYPE SPECTRAL D'APRÈS KEENAN
—	—	—	—	—
2 s	6,50	+ 0,20	—	F2
3 s	6,64	+ 0,31	—	F4
6	7,15	+ 0,07	A2	A3
8	8,30	+ 0,17	F2	F4
4 r	9,18	+ 0,90	—	G9
4 s	10,31	+ 0,49	d : G0	F5
7 r	10,98	+ 1,12	d : G7	G8
8 r	11,44	+ 0,98	d : G6	—
17	11,88	+ 0,58	G0	—
19	12,71	+ 0,47	F8	—
20	12,99	+ 0,47	F8	—

(1) désignation dans la séquence polaire,

(2) et (3) magnitudes photographiques et indices de couleur : de 2 s à 8 r inclus, d'après les mesures révisées et publiées par H. SEARES [8] ; 17, 19 et 20 d'après HANDBUCH DER ASTROPHYSIK [9] (4) et (5) ; type spectral d'après SCHWASSMANN [10] ou d'après KEENAN [11].

Dans le cas des nébuleuses de l'amas Virgo, bien groupées, il a été beaucoup plus pratique de choisir les étoiles de comparaison au sein même du champ ; celles-ci ont été comparées à plusieurs reprises directement à la séquence polaire par la méthode FABRY et elles présentent sensiblement le même degré d'exactitude. Ces étoiles figurent dans le tableau II ; les 2 plus faibles appartiennent à la Selected Area 80

TABLEAU II

Liste des étoiles de comparaison pour les nébuleuses de l'Amas Virgo

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
DÉSIGNATION	n° B. D.	n° H. D. C. ou S. A.	m_{pg} H. D. C. ou S. A.	I. C. H. D. C.	TYPE SPECTRAL	m_{pg} RATTACHÉES A LA S. P. N.
a	2 467	108 451	8,5	0,6	G0	8,70
b	2 497	107 855	9,1	0,8	G5	9,54
c	2 539	108 577	9,7	0,8	G5	10,25
d	2 499	107 887	10,45	0,56	G	10,00
e	2 468	108 422	11,5	0,8	G5	10,90
.....						
g		154	12,35		G2	12,39
h		197	12,86		F9	12,75

(1) désignation de l'étoile de comparaison.

(2) et (3) n° dans les catalogues BONNER-DURCHMUSTERUNG, HENRI DRAPER, ou dans la Selected Area 80.

(4) Magnitudes photographiques dans H. D. C. puis, pour g et h, dans la S. A. 80.

(5) Indices de couleur d'après H. D. C.

(6) type spectral d'après H. D. C. et pour les 2 dernières (S. A. 80) d'après HUMASON [12].

(7) Magnitudes photographiques rattachées à la séquence polaire.

b) *Conduite générale des observations :*

La prise des clichés photométriques exige un ciel pur ou tout au moins très beau mais d'agitation atmosphérique quelconque. Une nuit complète, avec absence de toute lumière lunaire ou crépusculaire (soleil au moins à 18° au-dessous de l'horizon), est absolument indispensable.

Après divers essais et tâtonnements, l'ordre des poses sur chaque cliché a été très souvent le suivant :

— une double pose sur une étoile montante ou descendante, pour la construction de la droite de BOUGUER, avec le plus petit diaphragme :

— une double pose sur la nébuleuse à mesurer avec chacun des diaphragmes choisis ;

— une pose simple ou double sur le ciel à côté de la nébuleuse avec chacun des mêmes diaphragmes employés pour la nébuleuse ⁽¹⁾ ;

(1) Il pourrait paraître inutile d'effectuer les poses sur le ciel au voisinage de la nébuleuse avec des diaphragmes différents puisqu'on peut calculer facilement les angles solides correspondant à chacun d'eux. En réalité, l'expérience a montré qu'il y a le plus grand intérêt à prendre la nébuleuse et le ciel nocturne voisin exactement dans les mêmes conditions, donc avec les mêmes diaphragmes ; de plus cette manière de procéder simplifie énormément la réduction des mesures.

- idem de l'autre côté de la nébuleuse ;
- une double pose sur une étoile de comparaison avec le plus petit diaphragme ;
- idem sur une 2^e étoile de comparaison ;
- une double pose sur une 2^e nébuleuse à mesurer et ainsi de suite...

A titre d'exemple le tableau IV reproduit un fragment du cahier d'observations avec ses différentes colonnes (cliché 25 du 27 janvier 1949).

- (1) N° de la pose photométrique.
- (2) Désignation de l'objet : nébuleuse, étoile de comparaison, ciel nocturne.
- (3) Champ du diaphragme utilisé, en minutes d'arc et fraction décimale, au foyer de l'instrument.
- (4) Temps universel au moment de la pose.
- (5) Transparence du ciel (1 = ciel pur ; 2 = ciel très beau ; 3 = ciel beau mais un peu brumeux vers l'horizon).
- (6) Déclinaison de l'objet pour 1950.
- (7) Angle horaire relevé au milieu de la pose.

Ces colonnes sont remplies au cours de la nuit au moment même des observations.

Le détail des colonnes suivantes sera donné par la suite.

La pratique des poses doubles réduit de moitié le nombre des nébuleuses étudiées au cours d'une nuit, mais elle rend possible l'estimation des écarts individuels pour chaque mesure et la détection d'erreurs accidentelles d'origine incertaine. Lorsqu'un écart atteint une valeur anormale et inexplicable, l'observation est rejetée.

c) *Influence des étoiles de premier plan :*

Il est important d'effectuer les poses sur des aires voisines de la nébuleuse et ne contenant pas d'étoiles ou autres nébuleuses visibles dans les limites du diaphragme utilisé, celles-ci contribueraient en effet à accroître le noircissement de la plage et à fausser les mesures. Il arrive quelquefois cependant qu'une ou même plusieurs étoiles moyennes ou assez brillantes se projettent au-devant de la nébuleuse à mesurer dans l'aire du diaphragme ; il y a lieu dans ce cas d'estimer la contribution lumineuse imputable à ces étoiles.

Les étoiles brillantes ont été identifiées, puis la correction a été faite en adoptant les magnitudes du H. D. C.

Dans le cas des étoiles faibles, qui se projettent dans le champ de la nébuleuse, on a choisi, au voisinage, des aires du ciel aussi analogues que possible quant au nombre et aux magnitudes des étoiles.

Au cours des mesures des nébuleuses de grand diamètre apparent effectuées au Brünner, il a été assez souvent nécessaire de tenir compte de la présence d'étoiles parasites de premier plan. Par contre, cette complication n'est que très rarement

intervenue avec les nébuleuses peu étendues étudiées au Coudé et au télescope de 120 cm.

d) *Éléments des clichés :*

Le tableau III donne les éléments des 42 clichés qui ont été utilisés dans ce travail :

TABLEAU III

Éléments des Clichés

N°	DATE CIVILE DU DÉBUT DE LA NUIT	T. U.	INSTRUMENT	Photo- mètre	PLAQUE	Étalonnage c = coin s = sensitomètre	n/b DE neb	Ciel de 1 à 3
1	13 avril 1947	21 h — 2 h 25 m	Brünnner	I	Superf.	c	7	2,5
	14 »	23 h 45 — 2 h 50 m						2
2	15 »	21 h 28 — 3 h 15 m	id.	I	id.	c	5	2
	16 »	21 h 10 — 2 h 40 m						2,5
3	21 »	21 h 20 — 0 h 20 m	id.	I	id.	c	3	1,5
4	25 »	1 h — 3 h 50 m	id.	I	id.	c	5	1,5
5	9 juin	22 h 15 — 23 h 41 m	id.	I	id.	c	6	1,5
	10 »	22 h 16 — 0 h 14 m						1,5
	11 »	22 h 15 — 0 h 28 m						1
	15 »	22 h 34 — 1 h 35 m						3
6	16 »	22 h 10 — 1 h 25 m	id.	I	id.	c	12	1
	17 »	22 h 10 — 1 h 30 m						1,5
	20 »	22 h 15 — 0 h 30 m						2
7	4 mars 1948	19 h 50 — 4 h 05 m	id.	II	103 a0	s	8	3
8	5 »	19 h 25 — 4 h 35 m	id.	II	id.	s	6	3
9	6 »	22 h 56 — 4 h	id.	II	id.	s	10	2
	8 »	19 h 45 — 23 h 45 m						3
10	9 »	20 h — 4 h 20 m	id.	II	Superf.	c + s	6	2
11	10 »	19 h 50 — 4 h 20 m	id.	II	103 a0	c + s	8	1
12	12 »	20 h 20 — 2 h 45 m	id.	II	id.	c + s	16	1
	13 »	20 h 30 — 4 h 10 m						1
13	14 »	21 h 40 — 4 h 10 m	id.	II	id.	c + s	11	1
14	6 mai	11 h 35 — 3 h 40 m	T. 120 cm	II	id.	c + s	8	1,5
	7 »	10 h 50 — 3 h 42 m						1,5
15	8 septembre	22 h 30 — 1 h 40 m	Brünnner	II	Superf.	s	2	1,5
16	30 »	19 h 20 — 3 h 25 m	id.	II	103 a0	c + s	5	1,5
	1 ^{er} octobre	20 h 10 — 1 h 45 m						1,5
17	3 octobre	19 h 26 — 4 h 16 m	Brünnner	II	103 a0	c + s	6	1,5
18	9 »	23 h 48 — 4 h 25 m	id.	II	id.	c + s	5	2,5
19	3 décembre	20 h 10 — 21 h 40 m	id.	II	id.	c + s	7	2,5
	5 »	20 h 26 — 2 h 20 m						3,5

TABLEAU III (*suite*)*Éléments des clichés*

N°	DATE CIVILE DU DÉBUT DE LA NUIT	T. U.	INSTRUMENT	Photo- mètre	PLAQUE	Étalonnage c = caln s = sensitomètre	n/b DE neb	Ciel de 1 à 3
20	6 décembre 1948	21 h 32 — 5 h 24 m	Brünnner	II	Superf.	c + s	5	1
21	22 janvier 1949	21 h 43 — 1 h 30 m	id.	II	id.	c + s	4	1,5
22	23 »	21 h 16 — 2 h 07 m	id.	II	id.	c + s	6	2
23	24 »	19 h 20 — 0 h 15 m	id.	II	id.	c + s	7	3
24	{ 26 »	19 h 50 — 20 h 45 m	id.	II	id.	c + s	8	3,5
	{ 27 »	20 h — 1 h 30 m						2
25	27 »	1 h 40 — 4 h 50 m	id.	II	id.	c + s	6	1,5
26	29 »	20 h 20 — 2 h 45 m	id.	II	id.	c + s	4	1,5
27	29 »	3 h 10 — 5 h 05 m	id.	II	id.	c + s	3	1,5
28	{ 2 février	23 h 50 — 5 h 17 m	Coudé	II	id.	s	18	1
	{ 3 »	23 h — 4 h 30 m						1
29	4 »	23 h 45 — 5 h 20 m	id.	II	id.	s	12	1
30	{ 19 »	0 h 15 — 1 h 30 m	id.	II	id.	c + s	16	2,5
	{ 21 »	20 h 10 — 2 h 30 m						3,5
31	{ 22 »	21 h 55 — 4 h 40 m	id.	II	103 a0	c + s	20	1
	{ 23 »	20 h 25 — 1 h 10 m						1
32	{ 25 »	19 h 50 — 4 h 30 m	id.	II	id.	c + s	25	1
	{ 26 »	23 h 30 — 0 h 55 m						1,5
33	{ 27 »	1 h 05 — 4 h 25 m	id.	II	id.	c + s	35	2,5
	{ 28 »	21 h 45 — 4 h						2,5
34	{ 17 mars	20 h 05 — 21 h 20 m						1,5
	{ 19 »	19 h 45 — 0 h 05 m	id.	II	id.	s	15	1,5
	{ 20 »	20 h — 22 h 15 m						1
	{ 20 »	10 h 30 — 1 h 42 m	id.	II	id.	s	23	1
35	{ 21 »	19 h 55 — 2 h 20 m						1
	{ 22 »	20 h 10 — 3 h 38 m						1
36	{ 23 »	19 h 50 — 0 h 35 m	id.	II	103 a0	c + s	22	3
	{ 27 »	19 h 40 — 20 h 45 m						2
37	{ 27 »	20 h 55 — 3 h 17 m	id.	II	id.	c + s	21	2
	{ 28 »	20 h 02 — 22 h 55 m						3
38	{ 28 »	23 h — 3 h 20 m	id.	II	id.	c + s	20	3
	{ 29 »	19 h 48 — 0 h 02 m						3
39	{ 30 »	20 h 58 — 2 h 28 m	id.	II	id.	c + s	18	3,5
	{ 31 »	19 h 46 — 22 h 15 m						3,5
40	31 »	22 h 32 — 3 h 40 m	id.	II	id.	s	6	3,5
41	21 mars 1950	22 h 40 — 2 h 55 m	T. 120 cm	II	id.	c + s	3	1
42	{ 22 »	23 h 10 — 3 h 48 m	T. 120 cm	II	id.	c + s	7	1
	{ 25 »	0 h 25 — 3 h 15 m						1

• e) *Mesure des densités :*

Les 6 premiers clichés ont été mesurés au microphotomètre FABRY et BUISSON [13] de l'Observatoire de Lyon, mais il est apparu aussitôt que ces mesures n'étaient pas suffisamment précises pour tirer tout le parti possible de ces observations. En effet, considérons la nébuleuse N G C 4 649, cliché 25, tableau IV, où la correction de ciel nocturne est particulièrement importante : $2,47 m_{pg}$. Des erreurs de densité de 0,01 commises en sens inverse sur les plages de la nébuleuse et sur celles du ciel nocturne introduisent une erreur de $0,41 m_{pg}$ sur la correction de ciel nocturne et par suite sur la magnitude définitive de la nébuleuse.

Dans un 2^e cas, emprunté au même cliché : nébuleuse N G C 5 055 où la correction de ciel nocturne est particulièrement faible ($C_n = 1,60 m_{pg}$), les mêmes erreurs de 0,01 en sens inverse sur les densités de la nébuleuse et du ciel voisin donnent une erreur de $0,26 m_{pg}$ sur la magnitude de la nébuleuse.

Donc dans tous les cas, une très faible erreur sur les densités se traduit par une erreur importante sur la magnitude de la nébuleuse d'où la nécessité d'effectuer les mesures avec le maximum de précision. A cet égard, le microphotomètre LALLEMAND [14], à cellules à couche d'arrêt, actuellement à l'Observatoire de Haute-Provence, m'a rendu les plus grands services. Tous les clichés, y compris les 6 premiers, ont été mesurés avec ce densitomètre d'un emploi très commode et d'une très haute précision.

La suite du tableau IV donne, dans une échelle arbitraire, les résultats des mesures de densité effectuées au « LALLEMAND » avec le plus petit trou :

(8) densité d_p des plages photométriques relatives aux nébuleuses, ciel nocturne ou étoiles de comparaison ;

(9) densité d_v du voile de fond de la plaque (moyenne de 2 mesures effectuées de part et d'autre de la plage) ;

(10) différence $d = d_p - d_v$ entre la plage et le voile voisin ;

(11) densité moyenne $\frac{d_1 + d_2}{2}$ des paires de plages, voile déduit ;

(12) valeur absolue des demi-différences $e = \frac{d_1 - d_2}{2}$ qui donnent l'écart de densité dans les doubles poses.

5. RÉDUCTION DES MESURES.

a) *Construction et utilisation de la courbe de noircissement :*

Lorsqu'on a mesuré toutes les densités — voile déduit — des plages d'un cliché, y compris les plages d'étalonnage, on construit la courbe de noircissement.

TABLEAU

Extrait du cahier d'observations et de réductions :

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
	DÉSIGNA- TION	Φ'	T. U.	CIEL DE 1 à 3	δ	A. H.	DENS. d_p AU LALLEM. DANS UNE ÉCHELLE ARBIT.	DENS. d_v DU VOILE DE FOND DE LA PLAQUE	DIFF. $d_p - d_v$	DENS. MOYEN. $\frac{d_1 + d_2}{2}$ VOILE DÉDUIT
1	b7, 1 Cmi	2',7	1h 40m	1,5	+ 7°38'	15h 06m	0,498	0,155	0,343	0,339
2	b7, 1 Cmi	2',7				15h 07m	0,490	0,156	0,334	
3	4 649	15,9		1,5	+ 11°49'	10h 09m	0,420	0,157	0,263	0,258
4	4 649	15,9					0,410	0,157	0,253	
5	4 649	13,1	2h				0,359	0,159	0,200	0,201
6	4 649	13,1			+ 11°49'	10h 12m	0,362	0,161	0,201	
7	ciel 1	13,1					0,326	0,157	0,169	0,164
8	ciel 1	15,9					0,379	0,157	0,222	0,219
9	ciel 2	15,9					0,371	0,155	0,216	
10	ciel 2	13,1					0,316	0,158	0,158	
11	4 321	13,1		1,5	+ 16°06'	10h 48m	0,330	0,160	0,170	0,172
12	4 321	13,1					0,334	0,160	0,174	
13	4 321	17,4					0,386	0,157	0,229	0,226
14	4 321	17,4			+ 16°06'	10h 51m	0,381	0,158	0,223	
15	ciel 1	17,4					0,358	0,156	0,202	0,204
16	ciel 1	13,1					0,310	0,155	0,155	0,150
17	ciel 2	13,1	2h 25m				0,301	0,156	0,145	
18	ciel 2	17,4					0,361	0,156	0,205	
19	2 s	2,7	2h 35m	1,5	+ 87°30'	11h 10m	0,605	0,155	0,450	0,451
20	2 s	2,7					0,607	0,156	0,451	
21	3 s	2,7			+ 86°26'	11h 20m	0,540	0,156	0,384	0,384
22	3 s	2,7					0,538	0,155	0,383	
23	b7, 1 Cmi	2,7	3h	1,5	+ 7°38'	16h 25m	0,367	0,159	0,208	0,204
24	b7, 1 Cmi	2,7					0,361	0,161	0,200	

IV

Cliché 25 du 27 janvier 1949

(1)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)
	ÉCART $\frac{d_1 - d_2}{2}$	m	$\frac{m_c - m_{n+c}}{m_{n+c}}$	$\frac{m_n - m_{n+c}}{m_{n+c}}$	m_n	ζ	SEC. $\zeta - 1$	P _o (SEC $\zeta - 1$)	m_o	$\frac{m_o^* - m_o}{m_o}$	m_{po}	POIDS DE 1 à 5
1												
2	4,5	0,497				55°	0,74					
3												
4	5	0,677	0,118	2,475	3,15	41° 2	0,32	0,12	3,03	6,35	9,38	4
5												
6	0,5	0,850	0,122	2,44	3,29	41°	0,32	0,12	3,17	6,35	9,52	4
7	5,5	0,972										
8												
9	3	0,795										
10												
11												
12	2	0,935	0,090	2,72	3,65	33°	0,19	0,07	3,58	6,35	9,93	3
13												
14	3	0,765	0,082	2,82	3,58	33°	0,19	0,07	3,51	6,35	9,86	3
15	1,5	0,847										
16												
17	5	1,025										
18												
19												
20	0,5	0,260		0,01	0,27	41°	0,32	0,12	0,15	6,35		
21												
22	0,5	0,400		0,01	0,41	40°	0,30	0,11	0,30	6,34		
23												
24	4	0,830				68°	1,67					

Dans le cas de l'étalonnage avec le coin Calmels, on passe aisément des différences de longueur de coin Δl aux Δm au moyen de la formule :

$$\Delta m = C \cdot \Delta l$$

C étant la constante moyenne du coin, en magnitude, pour le domaine de radiations efficaces.

J'ai déterminé C au moyen des clichés portant le double étalonnage. Les valeurs moyennes trouvées, avec la source employée (lampe Norma, sous tension de 55 volts, filtrée par la cuve d'eau céleste) sur plaques Superfulgur et Eastman 103 a 0 sont les suivantes :

PLAQUES	NOMBRE DE CLICHÉS	C	PLAQUES	NOMBRE DE CLICHÉS	C
Guilleminot Superfulgur	14	0,510	Eastman 103 à 0	17	0,520

On lit sur la courbe de noircissement les magnitudes fictives m_f (dans une échelle arbitraire) en fonction des densités moyennes (colonne 11 du tableau IV ; les résultats sont inscrits colonne 13.

b) *Correction relative à la brillance du ciel nocturne :*

1° *Cas des nébuleuses :*

L'emploi du même diaphragme pour les poses sur une nébuleuse et sur le ciel au voisinage de celle-ci a permis de simplifier considérablement les calculs de réduction. La correction relative à la brillance du ciel nocturne a pu alors être déterminée graphiquement

Soient :

m_n la magnitude, corrigée du ciel nocturne, d'une nébuleuse d'éclairement E ;

m_c la magnitude du ciel voisin correspondant (avec le même diaphragme) d'éclairement e

et m_{n+c} la magnitude de la nébuleuse, non corrigée du ciel nocturne, d'éclairement $E + e$.

On connaît m_c et m_{n+c} , il s'agit de calculer $m_n - m_{n+c}$. On a par définition :

$$m_n = -2,5 \log E + m_o$$

$$m_c = -2,5 \log e + m_o$$

et

$$m_{n+c} = -2,5 \log (E + e) + m_o$$

d'où l'on tire :

$$\begin{aligned} m_c - m_{n+c} &= 2,5 [\log (E + e) - \log e] \\ &= 2,5 \log \left(1 + \frac{E}{e} \right) \end{aligned}$$

on calcule de même :

$$m_n - m_{n+c} = 2,5 \log \left(1 + \frac{e}{E} \right),$$

On s'est alors donné une trentaine de rapports des éclairéments $\frac{E}{e}$ compris entre 0,01 et 1,50 auxquels correspondent des rapports des éclairéments $\frac{e}{E}$ compris entre 100 et 0,67 et on a calculé, pour les valeurs numériques de $m_c - m_{n+c}$, les valeurs correspondantes de $m_n - m_{n+c}$.

Ces données numériques ont servi à construire un graphique qui permet d'interpoler avec une précision très suffisante la correction relative à la brillance du ciel nocturne $m_n - m_{n+c}$ (en ordonnées) en fonction des différences $m_c - m_{n+c}$ (en abscisses) lues sur la courbe de noircissement.

2° Cas des étoiles de comparaison :

Les poses sur les étoiles de comparaison ont été faites généralement avec le diaphragme de 2 mm de diamètre. La correction relative à la brillance du ciel, sensiblement nulle dans le cas des étoiles de comparaison brillantes, prend une importance non négligeable avec des étoiles faibles.

On calcule aisément cette correction au moyen de formules analogues à celles utilisées ci-dessus pour les nébuleuses et où m_c et m_e (magnitude de l'étoile corrigée du ciel) sont connues.

On obtient :

$$m - m_e = 2,5 \log \frac{E}{e}$$

et

$$m_e - m_{e+c} = 2,5 \log \left(1 + \frac{e}{E} \right).$$

Ainsi, avec une étoile de comparaison de magnitude 10, 0, couramment utilisée pour les clichés tirés au Coudé, la correction de ciel nocturne n'est que de 0,03 m_{pg} ; elle atteint 0,12 m_{pg} avec une étoile de magnitude 11, 5 employée parfois pour mesurer les nébuleuses de petit diamètre apparent.

On a effectué une fois pour toutes la correction de ciel nocturne pour la série des étoiles de comparaison utilisées en adoptant pour magnitude photographique de 1° carré du ciel, la valeur trouvée par J. DUFAY [3] p. 168, au voisinage du pôle nord soit : $\mu_g = 4,37$.

La correction est en effet suffisamment petite, pour qu'on puisse admettre dans tous les cas cette valeur moyenne.

c) Correction relative à l'absorption atmosphérique :

Remarque : On a supposé que les magnitudes internationales des étoiles de la séquence polaire ne sont pas ramenées au zénith de l'Observatoire du Mont-Wilson mais qu'elles sont données telles qu'elles ont été observées dans cet établissement, c'est-à-dire à la distance zénithale 55°47'.

Les magnitudes publiées ici ne sont pas non plus ramenées au zénith du lieu

d'observation. En conséquence, les observations qui ont été effectuées à la même hauteur que le pôle n'ont subi aucune correction d'absorption atmosphérique. Seules les nébuleuses prises entre le pôle et le zénith et occasionnellement un peu au-dessous du pôle ont été corrigées par rapport aux étoiles de comparaison de la séquence polaire.

En ce qui concerne la séquence de nébuleuses établie dans l'amas de Virgo, on a généralement utilisé des étoiles de comparaison voisines (tableau II), au sein même du champ de nébuleuses et les corrections d'absorption atmosphérique différentielle ont toujours été très faibles.

Emploi de la méthode de Bouguer :

Entre la magnitude apparente m_ζ d'un astre, à la distance zénithale ζ ($\zeta \leq 60^\circ$) et sa magnitude au zénith m_0 , existe la relation :

$$m_\zeta - m_0 = p_0 (\sec \zeta - 1)$$

où p_0 est la perte de magnitude pour la masse d'air unité ($\zeta = 0$). Cette équation permet de calculer la différence de magnitude Δm pour une direction quelconque ($\zeta \leq 60^\circ$) et le zénith ; il suffit de connaître ζ et de déterminer p_0 au cours de la nuit. La méthode de BOUGUER en fournit le moyen.

Un nomogramme donne directement la distance zénithale ζ en fonction de l'angle horaire A. H. et de la déclinaison δ .

Afin de comparer nébuleuses et étoiles à la même hauteur, on a ramené les unes et les autres au zénith en retranchant Δm de leurs magnitudes apparentes.

d) *Exemple de réduction d'un cliché :*

La suite du tableau IV indique les opérations successives de réduction à effectuer pour passer des magnitudes fictives m_f (colonne 13) aux magnitudes photographiques m_{pg} dans le système international (colonne 22).

(14) : différence $m_c - m_{n+c}$ entre la magnitude fictive d'une nébuleuse et celle du ciel nocturne voisin, mesurées avec le même diaphragme.

(15) : correction relative à la brillance du ciel nocturne $m_n - m_{n+c}$ lue sur le graphique.

(16) : magnitude m_n de la nébuleuse corrigée du ciel nocturne, dans l'échelle arbitraire.

(17) : distance zénithale ζ de la nébuleuse ou de l'étoile de comparaison au moment de l'observation.

(18) : $\sec \zeta - 1$.

(19) : perte de magnitude $\Delta m = p_0 (\sec \zeta - 1)$ entre le zénith et la distance zénithale ζ .

(20) : magnitude m_0 de la nébuleuse ou de l'étoile de comparaison ramenée au zénith, toujours dans la même échelle arbitraire.

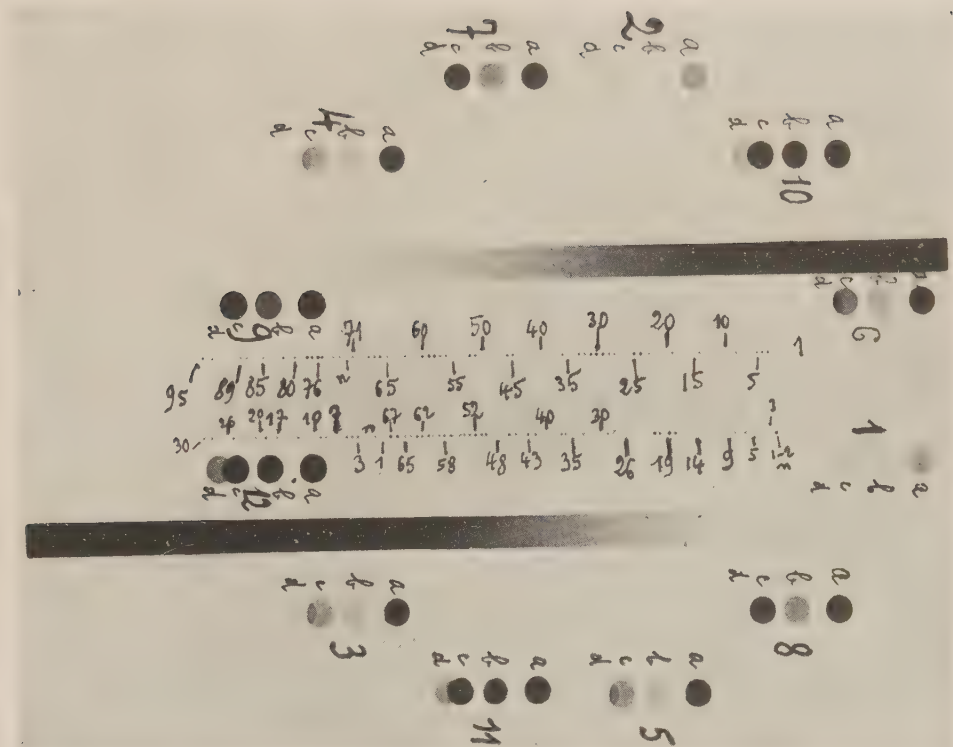


PLANCHE I. — Reproduction du cliché 32, obtenu avec le photomètre II à l'équatorial COUDÉ, les 25 et 26 février 1949. Ce cliché porte 192 pages photométriques dont l'ensemble constitue les mesures de 25 nébuleuses.

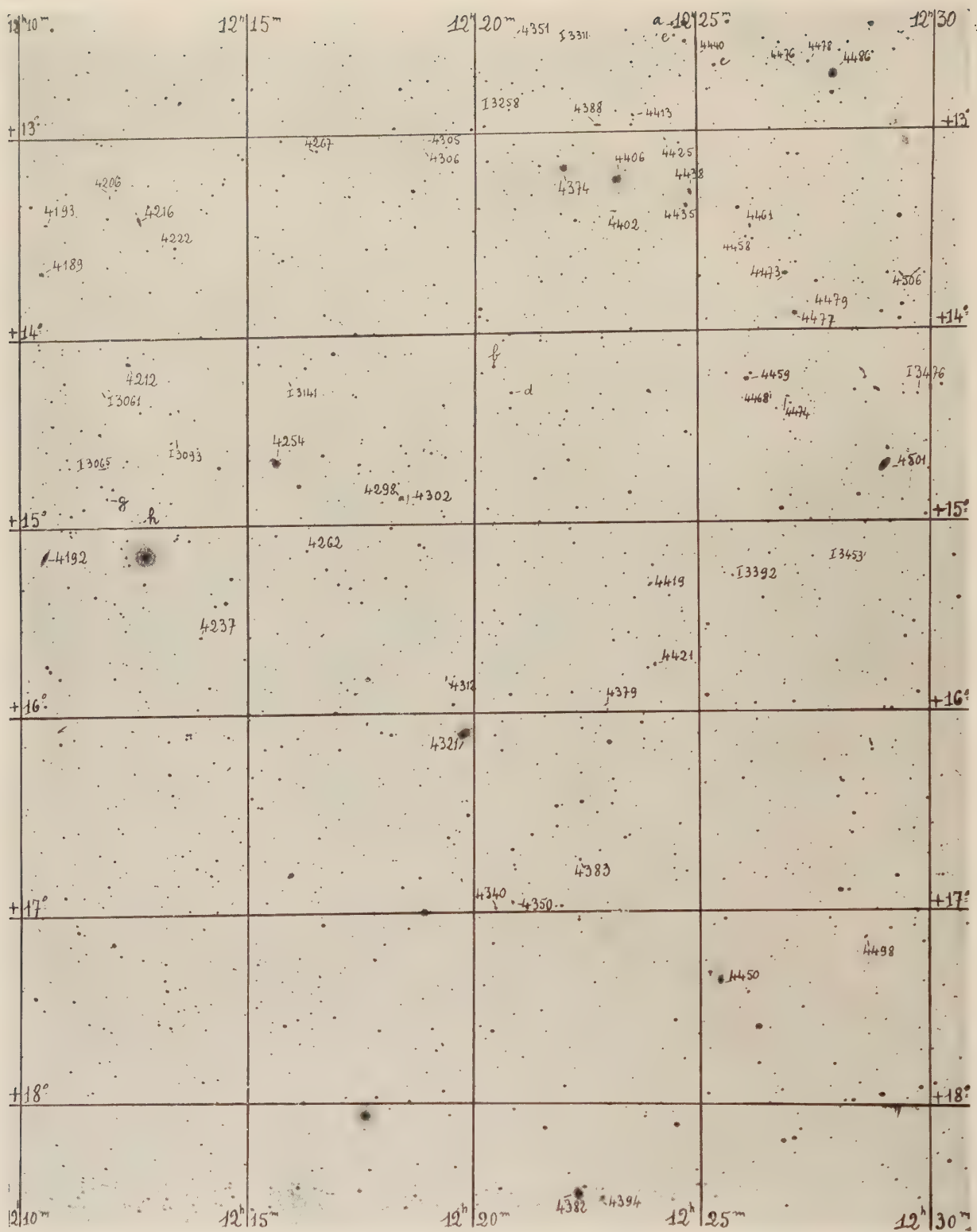


PLANCHE II. — Séquence de nébuleuses de l'amas VIRGO photographiée au télescope de SCHMIDT de Lyon.

(21) : différence entre la magnitude m_g^* d'une étoile de comparaison exprimée dans l'échelle internationale et m_0 dans l'échelle arbitraire. Remarquons que cette différence doit être sensiblement la même pour toutes les étoiles ; on fait la moyenne de toutes ces différences et on l'ajoute à m_0 de chaque nébuleuse pour obtenir sa magnitude vraie m_{pg} dans le système international, colonne (22).

En cas de désaccord important dans ces différences, il faut rechercher la cause d'erreur qui peut provenir d'une fausse identification de l'étoile, d'un temps de pose erroné ou d'une erreur commise au cours des mesures de densité ou du dépouillement.

(23) poids de 1 à 5 attribué à la magnitude définitive de la nébuleuse. On tient compte dans l'estimation de ce poids surtout de l'importance de la correction relative à la brillance du ciel nocturne qui est de beaucoup la cause prédominante d'erreur et aussi de la transparence du ciel, de l'écart e , des irrégularités du voile de la plaque, de la régularité de la courbe de noircissement.

DEUXIÈME PARTIE

A. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.

6. CATALOGUE GÉNÉRAL DES NÉBULEUSES MESURÉES PAR LA MÉTHODE DE FABRY.

Le tableau V contient les résultats d'ensemble relatifs à 175 galaxies mesurées par la méthode de FABRY. Les 5 premières colonnes indiquent respectivement : le n° du N. G. C., le diamètre pris dans le catalogue Shapley-Ames [15] le diamètre révisé [16], la classe, la magnitude photographique d'après HARVARD [15]. Dans les colonnes 6-7-8 et 9 figurent les moyennes de 2 ou 3 mesures indépendantes — parfois 4 ou plus — effectuées avec différents diaphragmes.

Pour chaque nébuleuse, on a porté sur un graphique les magnitudes en fonction des diamètres angulaires des diaphragmes utilisés. On ne peut reproduire ici tous ces graphiques, mais la figure 2 relative à une quinzaine de nébuleuses du début du catalogue suffira à donner une idée des résultats obtenus. Pour la grande majorité des cas, les 3 ou 4 points relatifs à chacun des diaphragmes employés pour un même objet se placent sur une courbe assez régulière qui décroît asymptotiquement jusqu'à un minimum qu'on appellera *magnitude totale*.

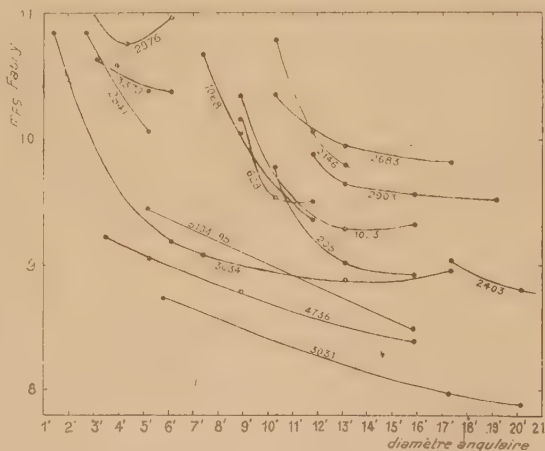


TABLEAU V

Catalogue général des nébuleuses extragalactiques mesurées par la méthode de Fabry

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
N. G. C.	DIAMÈTRE HARVARD	DIAMÈTRE RÉVISÉ	CLASSE	MAGN. HARVARD	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. TOTALE FABRY	POIDS DE 1 à 5
205	8'.0 - 3'.0	10'.7 - 5'.2	Ep	10,8	8,92 - (15'.9)	9,02 - (13'.1)	9,78 - (10'.3)		8,9	5
628	8' - 8'		Sc	11,2	9,51 - (11'.8)	9,54 - (10'.3)	10,16 - (8'.9)		9,5	4
772	5' - 3'	6'.9 - 4'.1	Sb	12,0	10,16 - (11'.8)				10,2	1
1 023	6'.9 - 1'.3		SBa	11,2	9,32 - (15'.9)	9,29 - (13'.1)	10,35 - (8'.9)		9,3	1
1 068	2'.5 - 1'.7	7'.3 - 6'.7	Sbc	10,0	9,36 - (11'.8)	10,05 - (8'.9)	10,64 - (7'.4)		9,4	3
2 146	5' - 2'.6		Irr	11,6	9,80 - (13'.1)	10,07 - (11'.8)	10,80 - (10'.3)		9,8	3
2 403	16' - 10'		Sc	10,2	8,80 - (20'.2)	9,04 - (17'.4)			8,8	4
2 537	1'.0 - 0'.7		Scp	12,2	11,33 - (3'.9)	11,40 - (3'.1)	11,56 - (2'.7)		11,3	4
2 681	3'.0 -		Sa	11,3	11,14 - (5'.8)	11,18 - (4'.3)	11,28 - (2'.7)		11,1	5
2 683	10'.0 - 1'.0		Sc	10,8	9,82 - (17'.4)	9,95 - (13'.1)	10,37 - (10'.3)		9,8	4
2 693	0'.7 - 0'.3		E	12,9	12,94 - (2'.7)	12,98 - (1'.8)			12,9	3
2 742	2'.5 - 1'.3		Sc	12,5	12,11 - (3'.9)	12,30 - (3'.1)			12,1	3
2 768	1'.5 - 0'.7		E6	12,0	10,98 - (4'.8)	11,28 - (3'.5)	11,46 - (2'.7)		11,0	5
2 775	2'.1 - 1'.2		Sa	11,5	11,16 - (5'.2)	11,19 - (4'.3)	11,58 - (3'.5)		11,2	5
2 787	2'.3 -		SBa	12,1	11,58 - (6'.1)	11,63 - (4'.8)	11,93 - (3'.1)		11,6	4
2 841	6'.0 - 1'.6		Sb	10,5	10,07 - (5'.2)	10,85 - (2'.7)			10,1	3
2 859	1'.9 - 1'.2		SBa	12,2	11,93 - (5'.2)	11,91 - (4'.3)	12,08 - (3'.5)	12,11 - (2'.7)	11,9	5
2 903	11'.0 - 5'.0		Sc	10,3	9,52 - (19'.2)	9,57 - (15'.9)	9,65 - (13'.1)	9,89 - (11'.8)	9,5	3
2 950	1'.4 -		SBa	12,1	12,16 - (3'.5)	12,04 - (3'.1)	11,89 - (2'.2)		11,9	4
2 967	1'.7 - 1'.7		Sc	12,4	12,18 - (3'.5)				12,2	3
2 976	3'.2 - 1'.1		Sc	11,2	10,98 - (6'.1)	10,84 - (4'.8)	10,76 - (4'.3)	11,30 - (2'.2)	10,8	4
2 985	3' -		Sb	11,8	11,20 - (6'.1)	11,30 - (4'.8)	11,65 - (3'.1)		11,2	4
3 031	16' - 10'		Sb	8,9	7,88 - (20'.2)	7,97 - (17'.4)	8,73 - (5'.8)		7,9	5
3 034	7'. - 1'.5		Irr	9,4	8,95 - (17'.4)	8,88 - (13'.1)	9,08 - (7'.4)	10,85 - (1'.4)	8,9	4
3 055	1'.2 - 0'.6		SBc	12,5	12,59 - (3'.9)	12,78 - (3'.1)	12,92 - (2'.2)		12,6	3

TABLEAU V (suite)

(1) N. G. C.	(2) DIAMÈTRE HARVARD	(3) DIAMÈTRE RÉVISÉ	(4) CLASSE	(5) MAGN. HARVARD	(6) MAGN. (DIAPH.)	(7) MAGN. (DIAPH.)	(8) MAGN. (DIAPH.)	(9) MAGN. (DIAPH.)	(10) MAGN. TOTALE FABRY	(11) POIDS DE 1 à 5
3 065	0'.3 - 0'.3		E	12,9	11,68 - (3'.1)	11,55 - (2'.7)	11,78 - (1'.8)		11,6	2
3 077	3' - 2'		Irr.	11,4	10,74 - (6'.1)	10,83 - (4'.8)	11,26 - (2'.2)		10,7	5
3 147	2' - 1'.7		Sc	11,9	11,24 - (6'.1)	11,11 - (4'.8)	11,38 - (2'.7)		11,1	4
3 184	6'.0 - 6'.0		Sc	11,8	11,17 - (6'.1)				11,2	3
3 185	1'.7 - 1'.0		S	12,7	12,87 - (3'.5)	13,10 - (2'.7)			12,9	4
3 190	3'.0 - 1'.0		Sb	12,1	11,63 - (5'.2)	11,91 - (3'.5)			11,6	4
3 193	1'.0 - 0'.8		E	12,6	12,19 - (3'.9)	12,58 (2'.7)			12,2	3
3 348	0'.7 - 0'.7		E	12,1	11,84 - (3'.5)	11,97 - (2'.7)	12,28 - (1'.8)		11,8	4
3 351	3'.0 - 3'.0		SBb	11,5	10,89 - (6'.1)	10,90 - (5'.2)	10,81 - (4'.3)		10,8	4
3 379	2'.0 - 2'.0		EO	10,8	10,38 - (6'.1)	10,39 - (5'.2)	10,59 - (3'.9)	10,64 - (3'.1)	10,4	5
3 384	3'.0 - 1'.2		SBa	11,3	11,06 - (5'.2)	10,86 - (3'.9)			10,9	4
3 389	2'.0 - 0'.9		Sc	12,6	12,62 - (4'.8)				12,6	2
3 412	2'.5 - 1'.3		SBa	11,6	11,61 - (5'.2)	11,42 - (4'.3)	11,95 - (3'.5)		11,4	3
3 414	1'.8 -		SBb	12,2	12,12 - (4'.8)	12,16 - (3'.5)	12,44 - (2'.7)		12,1	5
3 486	3'.8		Sc	11,4	11,20 - (6'.1)	11,52 - (3'.5)			11,2	4
3 521	4'.5 -		Sbe	10,3	9,90 - (6'.1)	10,34 - (2'.2)			9,9	4
3 596	4'.0 - 4'.0		Sc	12,2	11,83 - (5'.2)				11,8	3
3 605				13,1	13,04 - (3'.1)				13,0	2
3 607	1'.3 - 1'.0	2'.7 - 2'.3	E	11,4	10,95 - (4'.3)	11,32 (3'.1)			11,0	5
3 608	0'.6 - 0'.5		E	12,5	11,80 (2'.7)				11,8	4
3 610	1'.4 - 0'.8		E4	11,7	11,89 - (4'.3)	11,72 - (3'.5)	11,84 - (2'.7)		11,7	3
3 623	8'.0 - 2'.0		Sb	10,5	10,06 - (17'.4)	10,28 - (10'.3)			10,1	3
3 626	1'.9 -	2'.5 - 1'.3	Sa	11,8	11,84 - (4'.3)	12,22 - (3'.5)	11,89 - (2'.7)		11,8	3
3 627	8'.0 - 2'.5	10'.0 - 5'.3	Sb	9,9	9,94 (17'.4)	9,50 (10'.3)			9,5	2
3 628	12'.0 - 1'.5	14'.3 - 3'.0	Sb	11,3	9,93 (17'.4)				9,9	1
3 631	4'.6 - 4'.6		Sc	11,8	10,47 - (17'.4)	10,39 - (13'.1)	11,07 - (5'.8)	11,13 - (4'.8)	10,4	3
3 718	3'.0 -			12,4	11,76 - (6'.1)	11,88 - (4'.3)			11,8	2

TABLEAU V (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
N. G. C.	DIAMÈTRE HARVARD	DIAMÈTRE RÉVISÉ	CLASSE	MAGN. HARVARD	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. TOTALE FABRY	POIDS DE 1 à 5
3 726	4'.6 - 3'.5		Sc	11,7	10,55 - (15'.9)	10,67 - (11'.8)			10,6	3
3 729				13,0	11,62 - (6.1)	11,72 - (4'.3)			11,6	2
3 738	1'.1 - 0'.7		Irr	12,2	11,28 - (4'.8)	11,35 - (3'.5)	11,74 - (2'.7)		11,3	3
3 756	3.5 - 1'.4		Sc	12,5	11,80 - (3'.5)	12,49 - (2'.7)			11,8	3
3 780	2'.5 - 2'.0		Sc	12,6	12,10 - (4'.8)	12,30 - (3'.5)	12,72 - (2'.2)		12,1	3
3 804					12,54 - (2'.7)				12,5	2
3 810	4'.2 -	5'.0 - 3'.3	Sc	11,8	11,21 - (6'.1)				11,2	2
3 846					13,66 - (2'.7)				13,7	1
3 888				13,0	12,72 - (2'.7)				12,7	2
3 893	4'.1 -		Sc	11,0	10,55 - (7'.4)	10,90 - (4'.8)	11,06 - (3'.5)		10,6	3
3 898	2'.7 - 0'.7		Sa	12,0	10,90 - (6'.1)	11,20 - (4'.8)	11,48 - (3'.5)	11,85 - (2'.7)	10,9	3
3 916					13,45 - (2'.7)				13,4	1
3 938	4'.5 - 4'.5		Sb	11,6	11,00 - (5'.2)				11,0	4
3 949	2'.2 - 1'.4		Sc	11,6	11,32 - (4'.8)				11,3	2
3 953	6'.3 - 3'.2		Sc	11,5	10,18 - (17'.4)	10,49 - (13'.1)	10,98 - (6'.1)	11,16 - (3'.1)	10,2	2
3 972				12,9	12,91 - (4'.8)	13,58 - (3'.5)			12,9	2
3 982	2'.3 - 1'.8		Sc	11,8	11,52 - (6'.1)	11,81 - (4'.3)	12,46 - (2'.7)		11,5	4
3 992	7'.0 - 3'.0		SBc	11,2	10,24 - (8'.9)	10,74 - (6'.1)	11,21 - (3'.1)		10,2	4
3 998	1'.7 - 1'.3		Ep	11,6	11,37 - (6'.1)	11,49 - (4'.3)	11,70 - (2'.7)		11,4	4
4 030	3'.5 - 2'.5		Sb	11,2	11,17 - (6'.1)	11,25 - (5'.2)	11,64 - (4'.3)	12,30 - (2'.7)	11,2	3
4 051	4'.0 - 2'.0		Sbc	11,7	10,70 - (6'.1)	10,65 - (4'.3)	11,69 - (2'.2)		10,7	2
4 085	2'.3 - 0'.5		Sb	12,8	11,92 - (3'.1)				11,9	1
4 088	5'.2 - 1'.7		Sc	11,2	11,45 - (7'.4)	11,67 - (5'.8)			11,5	1
4 096	6'.0 - 1'.0		Sc	12,2	11,12 - (8'.9)				11,1	1
4 100	4'.0 - 1'.0		Sc	11,9	11,73 - (5'.8)				11,7	2
4 102	2'.3 - 1'.9		SBb	12,1	12,00 - (5'.2)	12,40 - (3'.9)	12,64 - (3'.1)		12,0	2
4 124	3'.6 - 1'.4	4'.8 - 1'.5	S	12,5	12,01 - (5'.2)	12,56 - (4'.8)			12,0	2

TABLEAU V (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
N. G. C.	DIAMÈTRE HARVARD	DIAMÈTRE RÉVISÉ	CLASSE	MAGN. HARVARD	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. TOTALE FABRY	POIDS DE 1 à 5
4 152	1' 0 - 0' 9	3' 0 - 2' 0	S	12,7	12,67 - (5' 2)	13,02 - (4' 3)	13,13 - (3' 5)	—	12,7	2
4 168	1' 4 - 1' 4	1' 2 - 1' 2	E	12,8	12,26 - (3' 5)	12,45 - (2' 7)	—	—	12,3	5
4 189	—	—	—	13,0	12,29 - (4' 8)	12,42 - (4' 3)	13,02 - (3' 5)	13,64 - (2' 7)	12,3	5
4 192	8' 0 - 2' 0	10' 3 - 2' 9	Sb	11,4	10,90 - (10' 3)	11,29 - (5' 8)	11,86 - (2' 7)	—	10,9	5
4 212	2' 6 - 1' 8	3' 7 - 2' 1	Sc	12,1	11,72 - (4' 3)	12,02 - (3' 5)	—	—	11,7	4
4 214	8' 0 - 4' 0	—	Irr.	10,7	10,49 - (5' 2)	10,61 - (3' 9)	—	—	10,5	5
4 216	7' 0 - 1' 0	9' 0 - 1' 8	Sb	11,3	10,93 - (10' 3)	10,91 - (6' 1)	11,27 - (2' 7)	—	10,9	4
4 237	1' 5 - 1' 0	2' 1 - 1' 3	S	12,6	12,10 - (3' 1)	—	—	—	12,1	3
4 242	4' 5 - 3' 2	—	S	11,8	11,89 - (5' 2)	12,30 - (3' 1)	—	—	11,9	4
4 244	13' 0 - 0' 9	—	Sb	11,0	10,25 - (17' 4)	—	—	—	10,2	1
4 254	4' 5 - 4' 5	5' 1 - 4' 7	Sc	10,5	10,45 - (5' 8)	—	—	—	10,4	5
4 258	20' - 6'	—	Sb	10,2	9,31 - (20' 2)	9,88 - (5' 8)	—	—	9,3	4
4 261	1' 6 - 1' 3	4' 5 - 4' 1	E2	11,7	11,70 - (5' 2)	—	—	—	11,7	5
4 262	1' 5 - 1' 4	0' 8 - 0' 8	E:	12,6	12,07 - (3' 1)	12,37 - (2' 7)	—	—	12,1	4
4 267	2' 2 - 2' 2	3' 4 - 3' 2	E	12,6	11,60 - (5' 8)	11,72 - (4' 3)	11,77 - (2' 2)	—	11,6	4
4 274	3' 5 - 1' 0	—	Sa	11,7	11,22 - (5' 2)	11,70 - (3' 9)	—	—	11,2	4
4 278	1' 0 - 0' 9	1' 7 - 1' 6	E	11,6	10,93 - (5' 2)	11,22 - (3' 9)	11,36 - (3' 1)	11,61 - (2' 2)	10,9	4
4 283	0' 3 - 0' 3	—	E	12,8	13,07 - (2' 2)	13,54 (1' 8)	—	—	13,1	1
4 293	5' 0 - 2' 0	6' 0 - 3' 7	S	11,7	11,00 - (10' 3)	—	—	—	11,0	2
4 294	—	—	Sc	13,0	12,33 - (5' 2)	12,24 - (3' 9)	—	—	12,3	5
4 299	1' 0 - 1' 0	—	Sc	13,1	12,23 - (3' 5)	12,77 - (2' 7)	—	—	12,2	3
4 303	6' 0 - 6' 0	7' 2 - 6' 0	SBc	10,4	—	—	—	—	10,2	3
4 321	5' - 5'	6' 9 - 6' 4	Sc	10,8	9,92 - (17' 4)	10,00 - (13' 1)	10,25 - (7' 4)	10,36 - (6' 1)	9,9	5
4 340	—	—	—	13,0	12,23 - (5' 2)	11,93 - (3' 9)	11,95 - (2' 2)	—	11,9	4
4 350	2' 0 - 0' 4	3' 2 - 0' 9	E	12,0	11,81 - (5' 2)	12,14 - (3' 5)	—	—	11,8	4
4 365	4' 0 - 3' 0	—	E3	11,0	10,67 - (5' 8)	11,06 - (3' 1)	—	—	10,7	3
4 371	1' 7 - 1' 3	2' 9 - 1' 9	SBa	12,1	11,90 - (3' 9)	—	—	—	11,9	3

TABLEAU V (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
N. G. C.	DIAMÈTRE HARVARD	DIAMÈTRE RÉVISÉ	CLASSE	MAGN. HARVARD	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. TOTALE FABRY	POIDS DE 1 à 5
4 374	2'.9 - 2'.6	4'.9 - 4'.8	E	10,9	10,26 - (6'.1)				10,3	3
4 377	1'.0 - 0'.8	1'.3 - 1'.3	E	12,9	12,59 - (3'.5)	12,94 - (2'.7)			12,6	3
4 382	4'.0 - 2'.5	6'.5 - 3'.9	E	10,5	9,87 - (11'.8)	10,40 - (7'.4)	10,80 - (5'.2)		9,9	5
4 394	4'.0 - 3'.5	4'.1 - 4'.0	SBb	12,2	11,35 - (5'.2)	11,47 - (4'.3)			11,3	4
4 406	3'.8 - 2'.9	7'.8 - 7'.7	E2	10,9	9,92 - (8'.9)	10,40 - (5'.2)			9,9	5
4 413				12,94					12,9	2
4 421			Sa	13,6	12,36 - (3'.5)	12,66 - (2'.7)	12,89 - (1'.8)		12,4	4
4 425				13,1	13,25 - (3'.9)	13,00 - (2'.2)			13,0	1
4 435	1'.6 - 1'.0	2'.7 - 1'.4	E6	11,8	11,20 - (5'.2)	11,65 - (3'.1)	11,80 - (2'.7)		11,2	5
4 438	8'.0 - 3'.0	10'.9 - 4'.1	Sb	11,9	10,98 - (11'.8)	11,00 - (7'.4)	11,16 - (5'.2)	11,90 - (2'.7)	11,0	2
4 440				13,2	13,24 - (2'.2)	13,30 - (1'.4)			13,2	3
4 449	4'.5 - 2'.5		Irr.	10,3	9,20 - (11'.8)	9,20 - (10'.3)	9,39 - (8'.9)		9,2	3
4 450	4'.4 - 3'.5	5'.9 - 4'.2	Sb	11,4	10,80 - (10'.3)	11,04 - (5'.8)			10,8	2
4 458			EO	13,8	12,86 - (3'.1)	13,32 - (1'.8)			12,9	3
4 459	2'.0 - 1'.0	3'.5 - 3'.3	E	11,9	11,60 - (5'.2)	11,77 - (4'.3)	11,89 - (2'.7)		11,6	2
4 461	3'.0 - 1'.0	5'.5 - 1'.3	S:	12,4	11,70 - (6'.1)	11,90 - (5'.2)	12,04 - (3'.9)		11,7	4
4 472	4'.5 - 4'.0	12'.0 - 10'.7	E1	10,1	9,17 - (15'.9)	9,69 - (5'.2)	10,11 - (2'.7)		9,2	5
4 473	3'.0 - 1'.5	5'.3 - 2'.8	E5	11,7	11,14 - (6'.1)	11,40 - (3'.9)			11,1	5
4 474	1'.5 - 0'.7	2'.5 - 1'.0	E	12,9	12,65 - (2'.7)				12,6	1
4 476				13,2	13,46 - (2'.2)	13,06 - (1'.8)	13,38 - (1'.4)		13,1	3
4 477	2'.5 - 1'.8	3'.7 - 3'.5	SBa	11,8	11,27 - (5'.2)	11,50 - (4'.3)			11,3	3
4 478	1'.2 - 1'.0	1'.1 - 1'.0	E2	12,5	12,10 - (3'.1)	12,44 - (2'.2)			12,1	5
4 479			SBa	14,2	13,12 - (2'.7)	14,14 - (1'.8)			13,1	2
4 486	3'.3 - 3'.3	7'.7 - 7'.6	E	10,7	9,84 - (8'.9)	10,22 - (5'.8)	11,43 - (2'.7)		9,8	5
4 490	4'.0 - 1'.8		Sc	10,5	9,72 - (13'.1)	9,78 - (10'.3)			9,7	2
4 501	6'.0 - 3'.0	7'.3 - 3'.7	Sc	10,9	10,34 - (7'.4)	10,53 - (5'.8)	10,88 - (2'.7)		10,3	5
4 535	6'.4 - 5'.0	7'.0 - 5'.3	Sc	11,1	10,74 - (5'.2)	11,90 - (2'.7)			10,7	5

TABLEAU V (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
N. G. C.	DIAMÈTRE HARVARD	DIAMÈTRE RÉVISÉ	CLASSE	MAGN. HARVARD	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. TOTALE FABRY	POIDS DE 1 A 5
4 548	4'.0 - 3'.6	5'.2 - 4'.3	SBb	11,9	10,95 - (5'.2)	11,05 - (3'.5)	—	—	11,0	—
4 552	2'.2 - 2'.2	3'.7 - 3'.7	E	11,3	11,03 - (5'.2)	10,95 - (4'.3)	11,11 - (2'.2)	—	11,0	4
4 559	8'.0 - 2'.0	11'.7 - 5'.3	Sc	10,7	10,3 - (11'.8)	—	—	—	10,3 ?	1
4 565	15'.0 - 1'.1	15'.9 - 2'.3	Sb	10,7	9,96 - (19'.2)	—	—	—	10,0	1
4 569	6'.0 - 3'.0	15'.0 - 6'.7	Sb	11,2	10,06 - (20'.2)	10,56 - (6'.1)	11,22 - (2'.2)	—	10,1	2
4 571	3'.0 - 2'.7	3'.9 - 4'.0	Sc	12,8	12,06 - (5'.2)	12,57 - (4'.3)	—	—	12,1	2
4 618	2'.5 - 2'.0	—	Irr	11,5	11,42 - (5'.2)	11,77 - (4'.3)	—	—	11,4	4
4 621	2'.7 - 1'.6	4'.6 - 2'.8	E5	11,4	10,93 - (5'.2)	—	—	—	10,9	3
4 631	12'.0 - 1'.2	—	Sc	9,6	9,38 - (15'.9)	—	—	—	9,4	1
4 647	2'.5 - 2'.2	—	S	12,0	9,53 - (15'.9)	9,68 - (13'.1)	9,85 - (11'.8)	10,04 - (8'.9)	9,5	5
4 649	3'.9 - 3'.1	—	E	10,6	—	—	—	—	—	—
4 651	3'.2 - 2'.2	3'.9 - 3'.0	Sc	11,8	11,54 - (5'.2)	11,92 - (2'.2)	—	—	11,5	4
4 654	4'.8 - 3'.3	4'.3 - 2'.5	Sc	11,7	10,95 - (5'.2)	11,09 - (4'.3)	11,39 - (3'.1)	—	11,0	4
4 656	20'.0	—	Irr	11,3	9,46 - (20'.2)	—	—	—	9,5	3
4 725	5'.0 - 4'.0	6'.7 - 4'.1	Sab	10,8	9,97 - (15'.9)	9,78 - (13'.1)	10,07 - (10'.3)	—	9,8	3
4 736	5'.0 - 3'.5	—	Sb	9,0	8,39 - (15'.9)	8,79 - (8'.9)	9,05 - (5'.2)	9,22 - (3'.5)	8,4	5
4 826	8'.0 - 4'.0	—	Sb	8,0 :	9,29 - (11'.8)	—	—	—	9,3	4
4 900	1'.7 - 1'.7	2'.2 - 2'.1	SBc	11,8	12,02 - (4'.8)	11,86 - (3'.5)	11,94 - (2'.7)	—	11,9	3
5 033	6'.0 - 3'.0	—	—	11,6	11,40 - (5'.2)	11,52 - (3'.1)	11,58 - (2'.2)	—	11,4	4
5 055	8'.0 - 3'.0	—	Sb	10,5	9,39 - (19'.2)	9,40 - (15'.9)	9,48 - (10'.3)	9,92 - (5'.2)	9,4	2
5 194-95	12'.0 - 6'.0	11,4 - 6'.7	Sc-Irr	10,1	8,49 - (15'.9)	9,45 - (5'.2)	—	—	8,5	5
5 236	10'.0 - 8'.0	13'.3 - 13.0	Sc	8,0 :	7,83 - (19'.2)	—	—	—	7,8	1
5 248	3'.2 - 1'.4	—	Sc	11,0	11,01 - (5'.2)	11,18 - (4'.3)	11,40 - (2'.2)	—	11,0	5
5 297	—	—	Sc	13,0	12,51 - (3'.1)	12,71 - (2'.7)	12,82 - (2'.2)	13,19 - (1'.8)	12,5	4
5 322	1'.4 - 1'.0	—	E3	11,6	11,53 - (5'.2)	11,67 - (3'.5)	11,55 - (2'.2)	—	11,5	4
5 364	4'.0 - 2'.8	—	Sc	11,8	10,87 - (5'.2)	11,13 - (2'.7)	—	—	10,9	5
5 371	4'.0 - 2'.8	—	Sc	11,7	11,19 - (5'.2)	11,77 - (2'.7)	—	—	11,2	5

TABLEAU V (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
N. G. C.	DIAMÈTRE HARVARD	DIAMÈTRE RÉVISÉ	CLASSE	MAGN. HARVARD	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. (DIAPH.)	MAGN. TOTALE FABRY	POIDS DE 1 A 5
5 457	22' - 22'	---	Sc	9,0	8,37 - (20'.2)	---	---	---	8,4	4
5 474	4'.0 - 4'.0	---	Sc	11,7	11,38 - (7'.4)	11,68 - (5'.2)	---	---	11,4	3
5 713	2'.1 - 2'.1	3'.3 - 3'.2	Sc	11,8	11,46 - (5'.2)	11,65 - (4'.3)	11,70 - (3'.5)	---	11,5	3
5 846	1'.0 - 1'.0	3'.3 - 3'.2	Ec	11,6	11,27 - (5'.2)	11,48 - (4'.3)	11,86 - (3'.5)	---	11,3	3
5 850	2'.6 - 2'.1	3'.2 - 2'.8	SBb	12,9	12,42 - (3'.9)	---	---	---	12,4	2
5 962	1'.9 - 1'.0	---	Sc	12,5	12,20 - (3'.5)	12,40 - (2'.7)	---	---	12,2	4
5 970	3'.0 - 1'.0	---	Sc	12,4	11,49 - (5'.2)	12,05 - (3'.5)	---	---	11,5	1
5 982	1'.0 - 0'.7	---	E3	12,5	12,28 - (2'.7)	---	---	---	12,3	1
6 181	2'.0 - 0'.7	3'.2 - 1'.1	Sc	12,6	12,00 - (4'.3)	---	---	---	12,0	1
6 207	2'.0 - 0'.7	---	Sc	12,3	11,78 - (3'.9)	---	---	---	11,8	1
6 217	1'.8 - 0'.7	---	Sc	12,6	11,90 - (4'.3)	12,53 - (2'.2)	---	---	11,9	1
6 503	5'.0 - 1'.0	---	Sc	11,4	11,09 - (6'.1)	---	---	---	11,1	1
6 658	---	---	Sa	13,3	12,56 - (3'.5)	12,82 - (2'.2)	---	---	12,6	1
6 661	---	---	Sa	13,1	13,70 - (3'.5)	13,74 - (1'.8)	---	---	13,7	1
6 946	8'.0 - 8'.0	---	Sc	11,1	10,61 - (8'.9)	---	---	---	10,6	1
7 331	9'.0 - 2'.0	---	Sb	11,2	10,07 - (11'.8)	10,36 - (10'.3)	---	---	10,1	4

Dans quelques cas, la courbe n'a pas encore atteint son minimum ce qui signifie que le plus grand diaphragme utilisé était encore trop petit et la magnitude totale est alors légèrement erronée par défaut. Enfin il arrive parfois que la courbe passe par un minimum puis de nouveau croît (N. G. C. 3 034 et surtout 2 976). On interprète cette particularité par un manque de sensibilité de la méthode dû à l'emploi de diaphragmes trop grands ; en effet dans ces cas, la correction de ciel nocturne a toujours été très importante. La magnitude totale est alors celle exprimée par le plus petit nombre ; elle est inscrite colonne (10).

On remarquera que les diamètres attribués aux nébuleuses dans les catalogues sont notoirement trop petits et que les régions extérieures de brillance très faible s'étendent au moins 2 ou 3 fois plus loin et apportent une contribution lumineuse appréciable.

Au cours de ce travail, on avait surtout en vue d'éviter les erreurs systématiques même si l'écart individuel sur la magnitude d'une nébuleuse particulière devait atteindre ou dépasser parfois 0,1 m_{pg} . Je pense que ce résultat a été atteint ainsi qu'en atteste l'accord avec d'autres méthodes tout à fait indépendantes et également dépourvues d'erreurs systématiques appréciables.

On a calculé l'erreur moyenne d'une observation individuelle par la formule

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}}$$

où d est la différence en magnitude de 2 observations effectuées avec le même diaphragme et n le nombre de ces observations. L'erreur moyenne atteint dans quelques cas particulièrement défavorables $\pm 0,23$, mais très souvent elle est de l'ordre de $\pm 0,10$ et descend parfois à $\pm 0,04$ quand les mesures sont nombreuses et la correction de ciel nocturne faible. Étant donnée la difficulté du problème, on peut considérer ces résultats comme très satisfaisants.

La colonne (11) donne le poids attribué à chacune des magnitudes totales de la colonne (10) : 5 correspond à de très bonnes mesures ($\varepsilon_1 \leq 0,06$) et 1 à des mesures médiocres ($\varepsilon_1 \geq 0,20$). Les magnitudes du tableau V n'ont pas été corrigées de l'absorption galactique.

7. SÉQUENCE PHOTOGRAPHIQUE ÉTABLIE DANS L'AMAS VIRGO.

Un des buts principaux de ce travail était d'établir une bonne séquence photographique de nébuleuses étroitement groupées sur la sphère céleste. Ces nébuleuses sont susceptibles d'être utilisées de la même manière qu'une séquence stellaire pour des comparaisons photométriques rapides de nébuleuses entre elles. On indiquera dans la 3^e partie quelques essais réalisés dans ce sens.

Cette séquence de galaxies a été constituée dans le très riche amas de Virgo

où sont rassemblées des centaines d'objets de magnitudes très diverses. Le travail préparatoire a été effectué sur des agrandissements de clichés tirés au télescope SCHMIDT [17] où on a pu choisir confortablement les nébuleuses à mesurer. On a cherché à obtenir des résultats aussi précis que possible en multipliant les mesures relatives à chaque objet et en réduisant l'incertitude due à la correction de ciel nocturne par des poses auxiliaires nombreuses sur le ciel dans le voisinage de la nébuleuse.

TABLEAU VI

Séquence photographique de nébuleuses dans l'amas Virgo

N. G. C.	m_{pg} TOTALE	ε_1	CLASSE	N. G. C.	m_{pg} TOTALE	ε_1	CLASSE
4 168	12,26	$\pm 0,05$	E	4 377	12,59	$\pm 0,12$	E
4 189	12,29	$\pm 0,05$	—	4 382	9,87	$\pm 0,06$	E
4 192 *	10,90	$\pm 0,04$	Sb	4 394 *	11,35	$\pm 0,08$	SBb
4 212	11,72	$\pm 0,07$	Sc	4 406 *	9,92	$\pm 0,06$	E2
4 214 *	10,49	$\pm 0,06$	Ir.	4 421	12,36	$\pm 0,09$	Sa
4 216	10,93	$\pm 0,08$	Sb	4 435	11,20	$\pm 0,06$	E6
4 237	12,10	$\pm 0,12$	S	4 440 *	13,26	$\pm 0,12$	—
4 254 *	10,38	$\pm 0,06$	Sc	4 458	12,86	$\pm 0,12$	Eo
4 261 *	11,70	$\pm 0,04$	E2	4 461	11,70	$\pm 0,09$	S :
4 262	12,07	$\pm 0,07$	E :	4 472	9,17	$\pm 0,06$	E1
4 267	11,59	$\pm 0,12$	E	4 473	11,14	$\pm 0,06$	E5
4 294	12,33	$\pm 0,05$	Sc	4 476	13,06	$\pm 0,10$	— »
4 299	12,23	$\pm 0,10$	Sc	4 477	11,27	$\pm 0,12$	SBa
4 303 *	10,16	$\pm 0,12$	SBc	4 478	12,10	$\pm 0,05$	E2
4 321	9,89	$\pm 0,05$	Sc	4 479	13,12	$\pm 0,16$	SBa
4 340	11,93	$\pm 0,08$	—	4 486 *	9,84	$\pm 0,05$	E
4 350	11,81	$\pm 0,08$	E	4 501 *	10,34	$\pm 0,06$	Sc
4 365 *	10,67	$\pm 0,12$	E3	4 535	10,74	$\pm 0,04$	Sc
4 371	11,90	$\pm 0,10$	SBa	4 548	11,00	$\pm 0,12$	SBb
4 374	10,26	$\pm 0,15$	E	4 552	11,03	$\pm 0,08$	E

Les 40 nébuleuses de cette séquence sont rassemblées dans le tableau VI ; elles s'échelonnent sur 4 magnitudes, de 9,2 à 13,2 m_{pg} et toutes les classes sont représentées. Les 4 colonnes successives donnent : le n° du N. G. C., la magnitude totale, l'erreur moyenne ε_1 d'une observation individuelle, la classe.

Les 11 nébuleuses marquées d'un astérisque ont été mesurées avec des diaphragmes un peu trop petits, leurs magnitudes ne sont vraisemblablement pas totales et une révision ultérieure sera nécessaire. La planche II reproduit le champ de cette séquence photographié avec le télescope SCHMIDT.

8. COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS DONNÉS PAR LA MÉTHODE DE LA CHAMBRE A COURT FOYER (HARVARD, LUND).

a) Comparaisons avec les magnitudes du catalogue Shapley-Ames [15] :

Sur la figure 3 on a porté en abscisses les magnitudes déterminées par la méthode FABRY et en ordonnées les magnitudes des mêmes nébuleuses prises dans le catalogue SHAPLEY-AMES (157 nébuleuses communes).

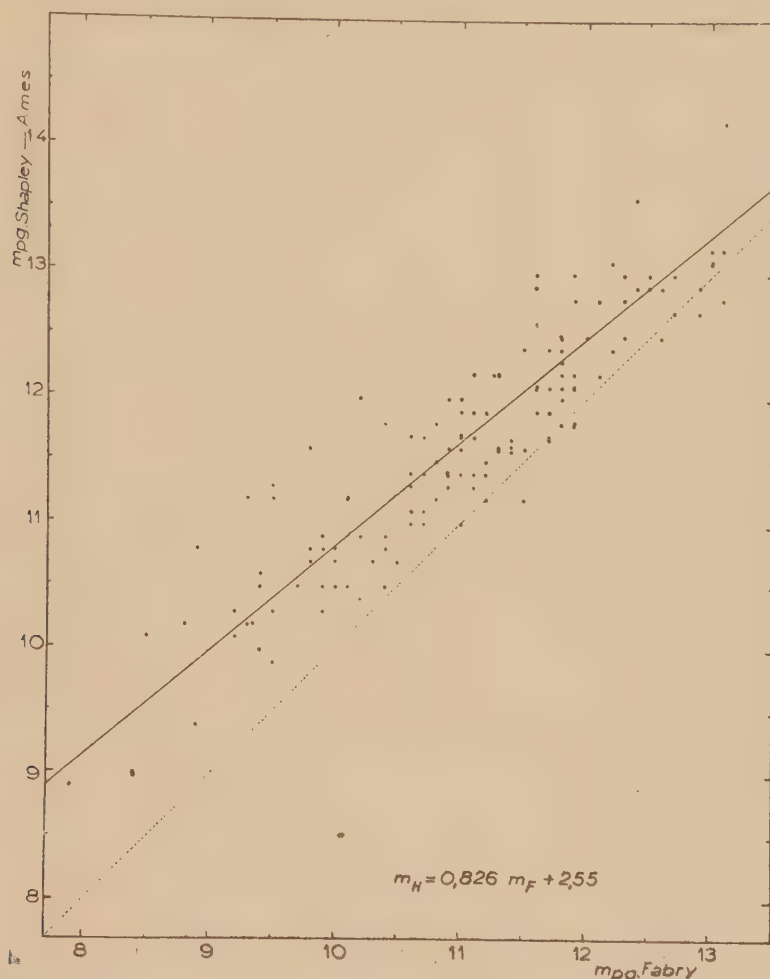


FIG. 3. — Comparaison entre les magnitudes FABRY et les magnitudes de HARVARD.

L'examen de ce diagramme suggère diverses remarques :

1° La dispersion des points est considérable et les écarts individuels dépassent parfois $1,5 m_{pg}$: (N. G. C. 205, 628, 772, 1 023, 2 146, 2 403, 4 656 et 5 194) ; et atteignent même $1,9 m_{pg}$ (N. G. C. 205 et 1 023).

2° A part quelques rares exceptions (N. G. C. 3 055, 3 185, 4 048, 4 242, 4 283 et 4 900), ces écarts sont tous dans le même sens : *les magnitudes du catalogue de Harvard sont systématiquement plus grandes, numériquement que les magnitudes Fabry*. Ce résultat confirme bien celui tiré de mes premières mesures [18]. La meil-

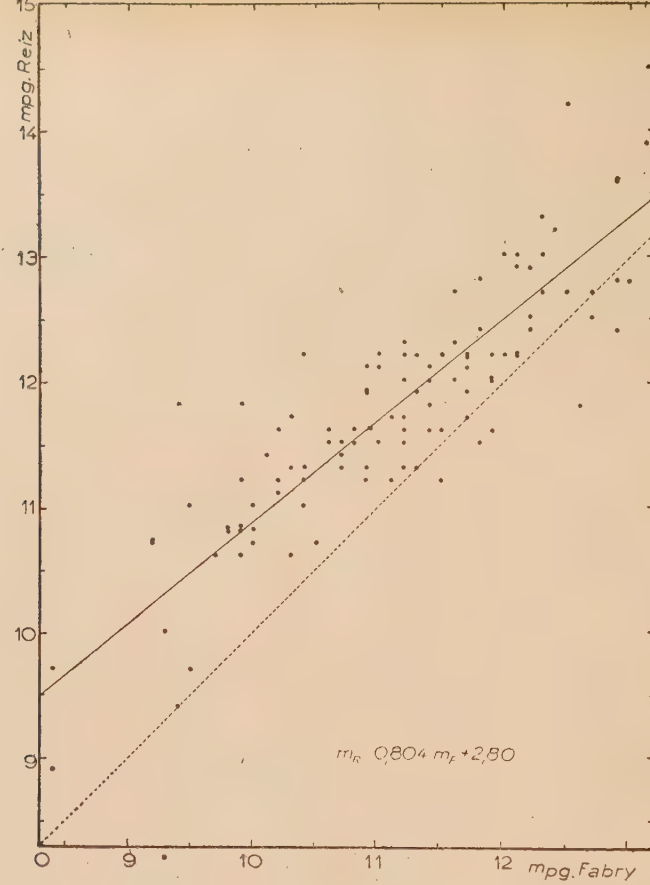


FIG. 4 — Comparaison entre les magnitudes FABRY et les magnitudes REIZ.

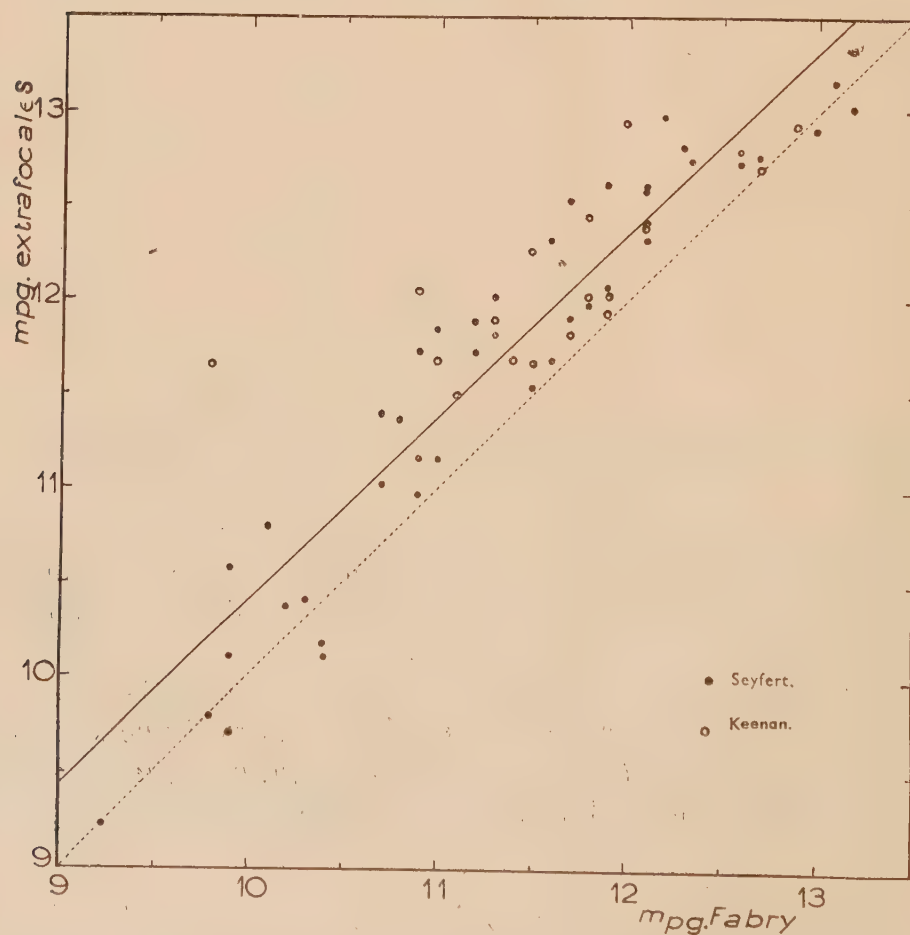


FIG. 5. — Comparaison entre les magnitudes FABRY et les magnitudes extra-focales.

leure droite tracée à travers les 157 points — par la méthode des moindres carrés — a pour équation :

$$m_H = 0,826 m_F + 2,55 \quad (1) \quad e.m. = \pm 0,42.$$

La méthode de HERTZSPRUNG [19] conduit à une équation peu différente :

$$m_H = 0,808 m_F + 2,70 \quad (2) \quad e.m. = \pm 0,42$$

où m_F et m_H expriment respectivement les magnitudes FABRY et les magnitudes de HARVARD.

Ainsi, les galaxies plus brillantes que $9,0 m_{pg}$ (échelle FABRY) ont un écart moyen d'une magnitude entière au moins. Il décroît progressivement à mesure que les nébuleuses deviennent plus faibles : $0,8 m_{pg}$ à $10,0 m_{pg}$; $0,6 m_{pg}$ à $11,2 m_{pg}$; $0,4 m_{pg}$ à $12,3 m_{pg}$.

Ce très important écart systématique moyen provient vraisemblablement du fait que dans les très petites images obtenues avec les chambres à court foyer les bords des nébuleuses, de faible brillance, sont perdus tandis qu'en photométrie FABRY, la plaque photographique intègre rigoureusement l'intensité lumineuse totale de l'objet si l'on prend la précaution d'utiliser des diaphragmes assez grands.

b) Comparaison avec les magnitudes du catalogue A. Reiz [20].

On peut faire des remarques tout à fait analogues au sujet des mesures réalisées par A. REIZ pourtant corrigées d'effets systématiques. Certains écarts individuels sont encore plus grands : $2,4 m_{pg}$ pour N. G. C. 5055 ; $2,0 m_{pg}$ pour N. G. C. 3 556 (figure 4).

La relation entre les 2 échelles de magnitudes (110 nébuleuses communes), déterminée par la méthode des moindres carrés, a pour équation :

$$m_R = 0,804 m_F + 2,80 \quad (3) \quad e.m. = \pm 0,49.$$

La méthode de HERTZSPRUNG conduit à l'équation peu différente :

$$m_R = 0,846 m_F + 2,50 \quad (4) \quad e.m. = \pm 0,49.$$

L'écart moyen qui est de $1,0 m_{pg}$ vers $9,0 m_{pg}$ (échelle FABRY) décroît également quand on considère des nébuleuses plus faibles : $0,5 m_{pg}$ vers $11,8 m_{pg}$.

Ainsi, la méthode de la chambre à court foyer conduit à des erreurs systématiques importantes.

9. COMPARAISON AVEC LA MÉTHODE EXTRAFOCALE : C K SEYFERT [21] A HARVARD ET P. C. KEENAN [22] A YERKES :

Sur la figure 5 on constate que :

1° Les magnitudes de SEYFERT (points noirs) et de KEENAN (petits cercles) ne présentent pas dans l'ensemble entre elles de différence systématique importante.

2° Les écarts individuels entre les magnitudes FABRY et les magnitudes extra-focales sont généralement inférieurs à $1,0 m_{pg}$ (excepté pour N. G. C. 2 146 et 3 898).

3° Dans l'intervalle de magnitudes 10,6 à 12,5, il existe un écart systématique représenté par la relation :

$$m_{\text{est}} - m_{\text{F}} = 0,42 \quad e.m. = \pm 0,23.$$

Cet écart moyen est un peu plus faible si l'on considère l'ensemble des nébuleuses communes, de 9,7 m_{pg} à 13,2 m_{pg} :

$$m_{\text{est}} - m_{\text{F}} = 0,33 \quad e.m. = \pm 0,19.$$

La méthode qui consiste à comparer des nébuleuses à des étoiles standard en plaçant la plaque photographique en dehors du plan focal s'avère donc légèrement meilleure que la méthode de la chambre courte, mais sa précision est encore très insuffisante.

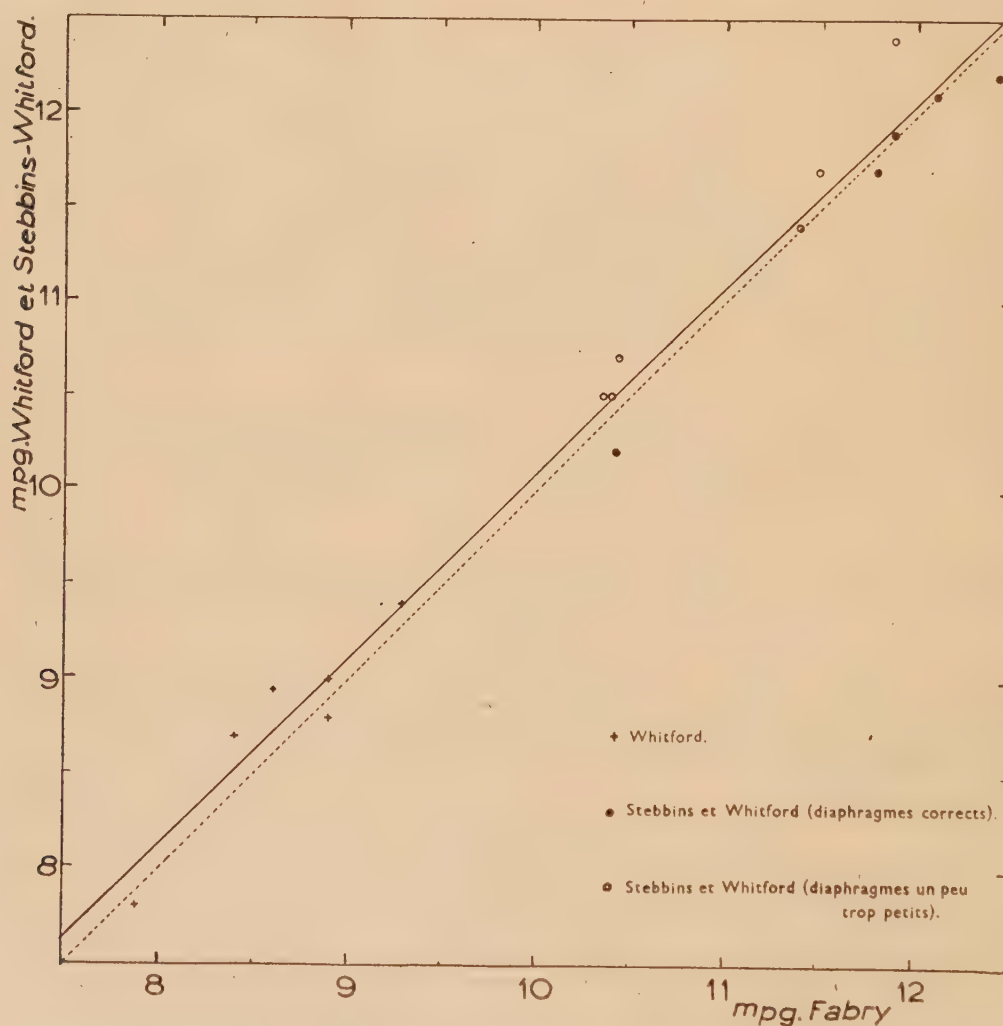


FIG. 6. — Comparaison entre les magnitudes FABRY et les magnitudes photoélectriques.

10. COMPARAISON AVEC LA MÉTHODE PHOTOÉLECTRIQUE :

WHITFORD [23] ET STEBBINS ET WHITFORD [24] AU MONT-WILSON.

On a indiqué sur la figure 6, 17 nébuleuses mesurées par les méthodes de FABRY et photoélectrique : WHITFORD (petites croix) ; STEBBINS et WHITFORD, avec des diaphragmes de diamètres angulaires peu différents des miens (points noirs). Les petits cercles concernent des nébuleuses mesurées également par ces 2 auteurs mais avec des diaphragmes sans doute un peu trop petits.

L'accord entre les résultats des 2 méthodes est très satisfaisant : il n'existe pas d'écart systématique vraiment sensible.

Les autres galaxies communes aux 2 méthodes ne figurent pas sur ce graphique : les diaphragmes placés devant la cellule avaient un diamètre angulaire beaucoup trop petit pour qu'on puisse parler de magnitude totale et la comparaison n'est plus possible. Notons cependant que dans ce cas, les magnitudes du Mont-Wilson ont toujours des valeurs numériques plus grandes que les magnitudes FABRY.

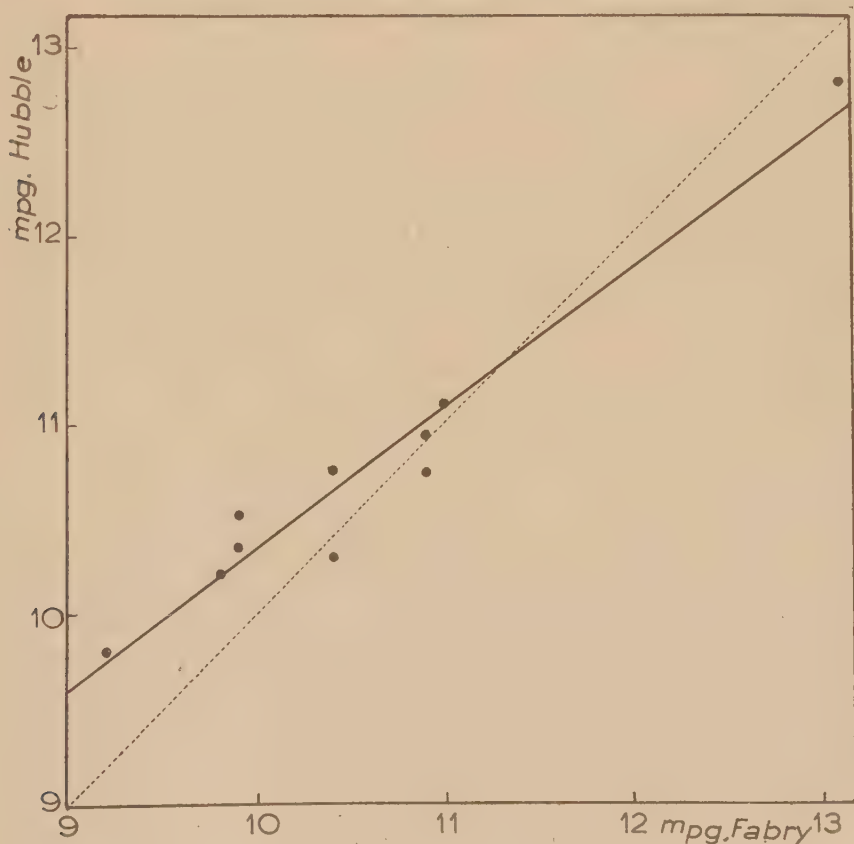


FIG. 7 a.

Comparaison entre les magnitudes FABRY et les magnitudes HUBBLE (profils photométriques).

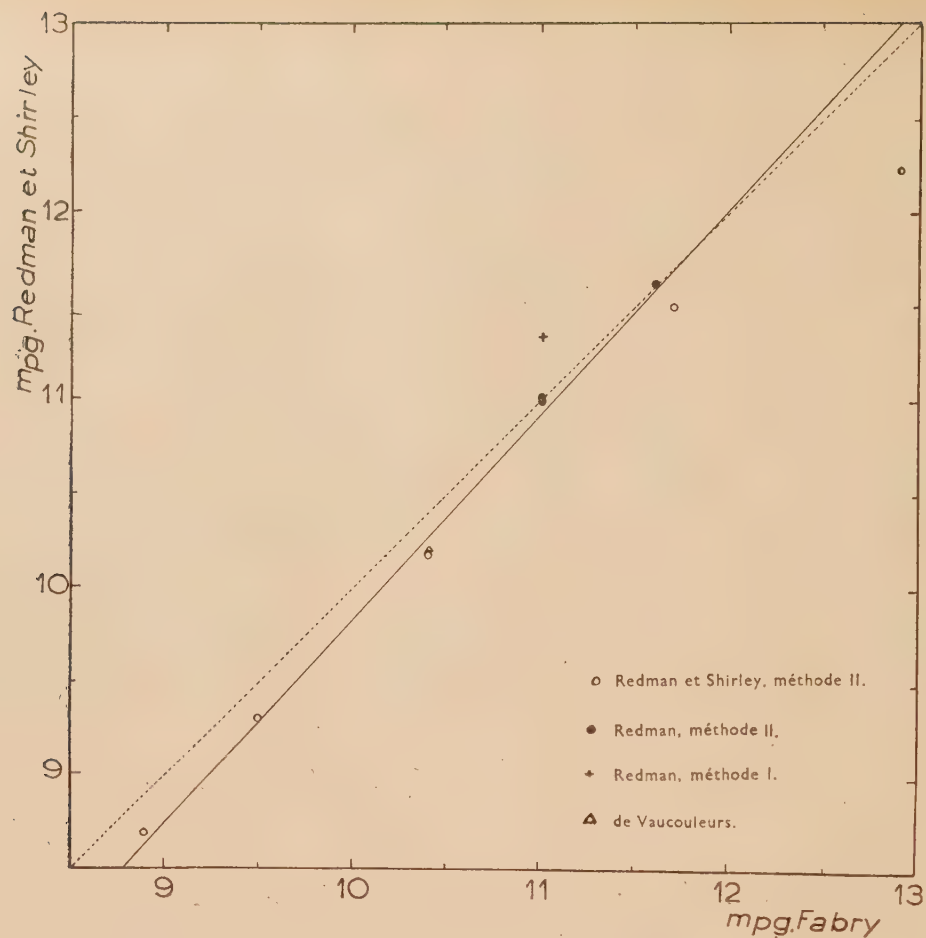


FIG. 7 b. — Comparaison entre les magnitudes FABRY et les magnitudes de REDMAN et SHIRLEY.

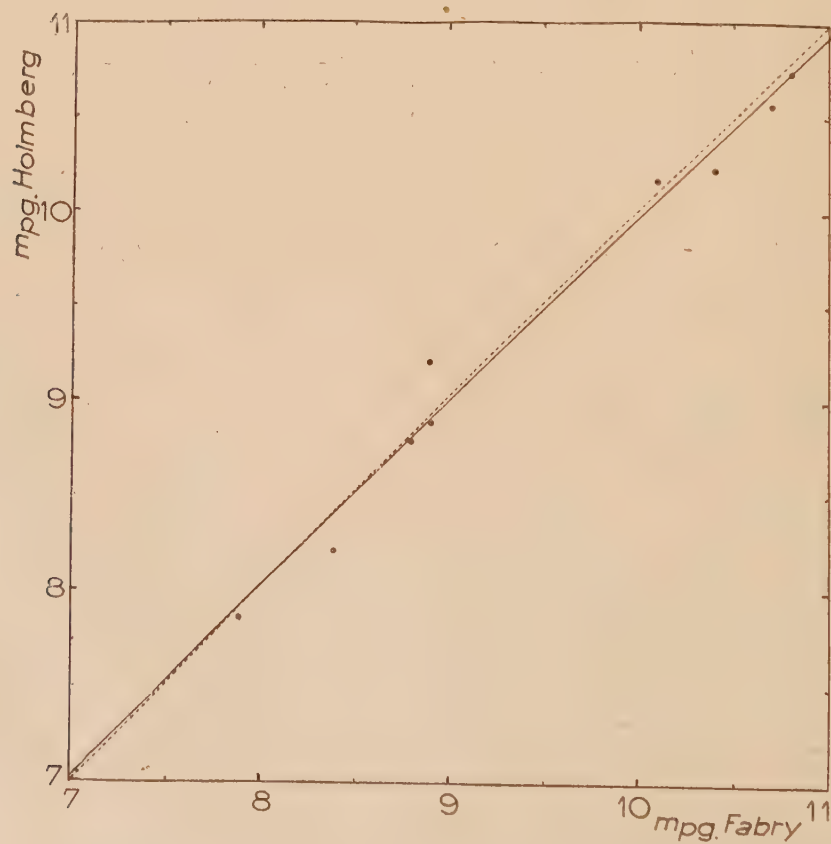


FIG. 7 c. — Comparaison entre les magnitudes FABRY et les magnitudes de HOLMBERG.

11. COMPARAISON AVEC LES MAGNITUDES TIRÉES DES ENREGISTREMENTS MICRO-PHOTOMÉTRIQUES :

a) *avec les mesures de Hubble [25] portant sur des nébuleuses elliptiques :*

On a considéré les magnitudes calculées par HUBBLE pour des poses de 60 minutes. Les 10 nébuleuses communes sont représentées sur la figure 7 *a*. On remarque un écart systématique d'environ $0,40 m_{pg}$ vers $9,8 m_{pg}$, écart qui décroît puis s'annule sensiblement vers $11,0 m_{pg}$. La dispersion moyenne des points est de quelques dixièmes de magnitude.

b) *avec les mesures de Redman et Shirley [26 et 27] :*

Sur la figure 7 *b* les points noirs représentent les nébuleuses mesurées par REDMAN en 1936 par la méthode II, les petits cercles par REDMAN et SHIRLEY en 1938 également par la méthode II et la petite croix (N. G. C. 2 768) par REDMAN par la méthode I reconnue peu correcte par l'auteur. Les mesures prises dans leur ensemble ne présentent pas d'écart systématique sensible avec la méthode FABRY et les écarts individuels sont faibles : $0,10 m_{pg}$ environ pour 7 objets sur 9.

La nébuleuse N. G. C. 3 379 mesurée par DE VAUCOULEURS [28] est figurée par un petit triangle.

c) *avec les mesures de Holmberg [29] :*

La figure 7 *c* permet la comparaison avec les magnitudes FABRY (9 nébuleuses communes) : l'accord est remarquable tant par la très faible dispersion des mesures (N. G. C. 3 034 excepté) que par l'absence de tout écart systématique sensible.

Les déterminations récentes de magnitudes totales dérivées des enregistrements microphotographiques s'accordent donc très bien en général avec les mesures faites par la méthode de FABRY.

CONCLUSIONS

La comparaison des résultats donnés par les différentes méthodes qu'on vient d'examiner montre que la photométrie précise des nébuleuses extragalactiques est encore fort peu avancée et porte sur un nombre d'objets très réduits. Parmi les méthodes employées, certaines semblent peu correctes et donnent des résultats à la fois imprécis et, ce qui est plus grave, entachés d'erreurs systématiques pouvant atteindre une magnitude. C'est notamment le cas de la méthode de la chambre à court foyer qui, à cause de sa rapidité, a servi à déterminer la quasi totalité des magnitudes photographiques actuellement utilisées. Il semble qu'une correction calculée au moyen des équations ci-dessus (1), (2), (3) ou (4) appliquée aux importants catalogues SHAPLEY-AMES et REIZ, en permettrait une utilisation plus correcte, mais elle ne supprimerait pas les très importants écarts individuels.

L'étalement, par la méthode extrafocale, de l'image des nébuleuses et des étoiles de comparaison sur des aires égales et sensiblement uniformes, améliore un

peu les mesures, mais elles présentent encore des écarts individuels et des erreurs systématiques non négligeables.

Restent la méthode d'intégration des profils photométriques et celles qui utilisent un diaphragme (mesures photoélectriques ou photographie du cercle oculaire). La discussion précédente montre qu'elles permettent de traiter correctement le problème de la photométrie globale des nébuleuses. La 1^{re} en outre, à l'avantage de renseigner sur la distribution de la luminosité dans les images nébulaires, de mieux connaître leur diamètre total et par suite de calculer la magnitude totale sans risque d'erreur par défaut. Malheureusement, son rendement est trop faible pour qu'elle soit applicable à de très nombreux objets.

Les méthodes à diaphragmes sont plus expéditives et l'emploi d'un multiplicateur d'électrons serait en particulier susceptible de donner assez rapidement, pour un grand nombre de galaxies, les magnitudes correctes et en plusieurs couleurs nécessaires aux statisticiens pour connaître l'architecture exacte du système métagalactique.

B. UTILISATION DES RÉSULTATS.

12. RENSEIGNEMENTS SUR LES MAGNITUDES ABSOLUES ET LES DIMENSIONS DES GALAXIES :

En 1936, HUBBLE [30] a montré que la dispersion des magnitudes absolues des nébuleuses des classes Sb ; SBb ; Sc, SBc et irrégulières était nettement plus grande que celle des étoiles les plus brillantes, de type I, qui les peuplent. Il a considéré pour cela les nébuleuses résolues du groupe local dont les distances avaient été déterminées au préalable par l'observation des céphéides.

La magnitude absolue la plus probable de la moyenne des 4 ou 5 étoiles les plus brillantes a ainsi été évaluée par HUBBLE à : $M_e = -6,35 m_{pg}$ pour les classes Sc, SBc et Ir et à $M_e = -5,65 m_{pg}$ pour les classes Sb et SBb ⁽¹⁾ ; la dispersion est dans les deux cas d'environ $0,40 m_{pg}$.

Pour 145 nébuleuses résolues avec les télescopes de 1m,50 et de 2m,50, HUBBLE donne les magnitudes apparentes m_e des étoiles les plus brillantes mesurées sur les meilleurs clichés pris avec ces 2 instruments. On a groupé dans le tableau VII les 64 nébuleuses mesurées par la méthode FABRY et qui font partie de la liste de HUBBLE. Les colonnes successives donnent :

- (1) n° du N. G. C ;
- (2) classe ;
- (3) magnitude apparente m_e des 4 ou 5 étoiles les plus brillantes ;

⁽¹⁾ On sait que les nébuleuses elliptiques ainsi que les noyaux des spirales et les amas globulaires renferment une population stellaire dite de type II [31] dont la magnitude absolue ne dépasse pas -1 . D'où les difficultés rencontrées pour résoudre ces systèmes.

(4) module de distance $m_e - M_e$ calculé avec les valeurs de m_e mesurées sur les clichés du Mont-Wilson et celles de M_e établies par HUBBLE (il n'a pas été tenu compte de la variation de M_e en fonction de M_n) ;

(5) distance correspondante en millions de parsecs ;

(6) magnitude photographique apparente totale m_n de la nébuleuse mesurée par la méthode FABRY.

(7) magnitude absolue M_n de la nébuleuse tirée de la relation $m_e - M_e = m_n - M_n$;

(8) diamètre angulaire du grand axe en minutes d'arc, évalué ou extrapolé d'après les mesures FABRY avec les différents diaphragmes (tableau V) ou d'après les enregistrements récents de HOLMBERG [29] ;

(9) diamètre linéaire correspondant en parsecs.

Le détail des colonnes suivantes sera donné par la suite.

Les magnitudes photographiques absolues des nébuleuses de ce tableau se rangent de — 13,5 (N. G. C. 3 055 et 5 850) à — 17,0 (N. G. C. 5 236) et les grands axes de 1 530 parsecs (N. G. C. 2 967) à 9 220 parsecs (N. G. C. 3 953).

Pour l'ensemble des 64 nébuleuses, la distribution des fréquences en fonction des magnitudes absolues est bien représentée par une courbe de GAUSS (fig. 8). Les galaxies les plus nombreuses ont une magnitude absolue très voisine de — 15,0 (16 de M_n comprise entre — 14,5 et — 14,9 et 17 entre — 15,0 et — 15,4). La moyenne des 64 nébuleuses considérées est — 14,9 et la dispersion $\sigma = 0,90$.

La magnitude absolue moyenne généralement admise, à la suite des travaux de HUBBLE est : $M_n = -14,2$ avec une dispersion $\sigma = 0,85$. On retrouve ainsi sensiblement l'écart systématique moyen déjà constaté entre les magnitudes FABRY et celles habituellement utilisées, obtenues avec les chambres à court foyer.

On pourrait se demander si cette surabondance de galaxies géantes n'est pas due à un effet de sélection au profit des membres intrinsèquement les plus lumineux qui viendraient améliorer la moyenne des magnitudes absolues. Ceci est fort peu probable ou ne joue que très faiblement, car les nébuleuses considérées ici ne sont pas prises au hasard parmi celles de magnitudes apparentes les plus brillantes, mais parmi les objets résolus, donc les plus proches. Une correction de cette importance à apporter à la magnitude absolue moyenne des galaxies mériterait d'être appuyée

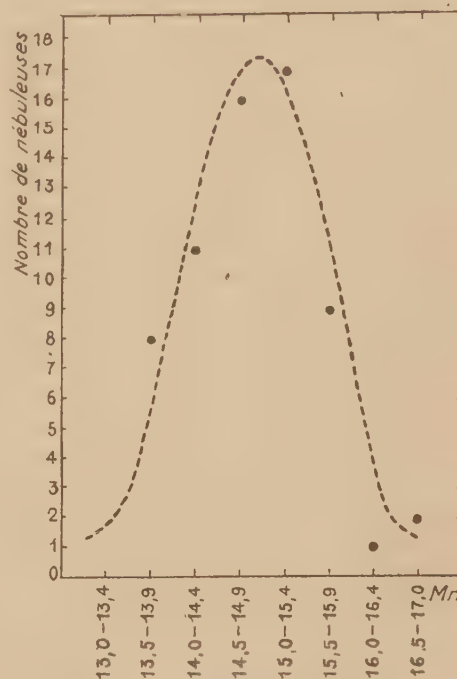


FIG. 8. — Courbe de fréquence des magnitudes absolues.

TABLEAU VII

Magnitudes absolues et diamètres de 64 nébuleuses résolues mesurées par la méthode de Fabry

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
N. G. C.	CLASSE	m_e HUBBLE	$m_e - M_e$	DISTANCE EN 10^6 PARSECS	m_n TOTALE FABRY	M_n	DIAM. DU GRAND AXE EN."	DIAM. DU GRAND AXE EN PARSECS	$m_e - m_n$ OBSERVÉE HUBBLE	$m_e - m_n$ CORRIGÉE HUBBLE	$m_e - m_n$ OBSERVÉE FABRY	$m_e - m_n$ CORRIGÉE FABRY
628	Sc	18,9	25,2	1,05	9,5	15,7	12'	3.660	7,8	—	—	—
1 068	Sbc	18,7	24,3	0,69	9,4	14,9	15'	3.020	8,6	—	9,4	—
2 403	Sc	18,0	24,3	0,63	8,8	15,3	29'	5.320	7,9	—	9,2	—
2 537	Scp	19,8	26,1	1,51	11,3	14,8	4'	1.760	7,7	—	8,5	—
2 742	Sc	19,9	26,2	1,66	12,1	14,1	5'	2.420	7,5	—	7,8	—
2 903	Sc	19,0	25,3	1,10	9,5	15,8	20'	6.380	8,8	—	9,5	—
2 967	Sc	19,5	25,8	1,32	12,2	13,6	4'	1.530	7,2	—	7,3	—
2 976	Sc	20,2	26,5	1,90	10,8	15,7	10'	5.540	9,1	—	9,4	—
3 031	Sb	18,5	24,1	0,63	7,9	16,2	35'	6.430	10,4	9,8	10,6	10,2
3 055	SBe	20,5	26,1	1,58	12,6	13,5	5'	2.310	8,1	—	7,9	—
3 184	Sc	19,0	25,3	1,10	11,2	14,1	8'	2.550	7,3	—	7,8	—
3 486	Sc	20,2	26,5	2,00	11,2	15,3	8'	4.640	8,9	—	9,0	—
3 521	Sbc	20,0	25,6	1,26	9,9	15,7	8'	2.930	9,8	—	10,1	—
3 596	Sc	19,5	25,8	1,44	11,8	14,0	6'	2.520	7,4	—	7,7	—
3 631	Sc	18,6	24,9	0,95	10,4	14,5	15'	4.170	6,9	—	8,2	—
3 738	Ir	20,3	26,6	2,09	11,3	15,3	5'	3.040	8,2	8,6	9,0	9,4
3 756	Sc	20,4	26,7	2,19	11,8	14,9	6'	3.820	8,0	—	8,6	—
3 780	Sc	19,9	26,2	1,74	12,1	14,1	6'	3.030	7,4	—	7,8	—
3 810	Sc	19,6	25,9	1,51	11,2	14,7	8'	3.520	7,9	—	8,4	—
3 893	Sc	19,7	26,0	1,58	10,6	15,4	10'	4.600	8,8	—	9,1	—
3 949	Sc	20,0	26,3	1,82	11,3	15,0	5'	2.650	8,5	—	8,7	—
3 953	Sc	19,7	26,0	1,58	10,2	15,8	20'	9.220	8,3	—	8,5	—
4 030	Sb	19,5	25,1	1,05	11,2	13,9	7'	2.130	8,4	7,8	8,3	7,9
4 051	Sbc	19,3	24,9	0,96	10,7	14,2	6'	1.670	7,7	—	8,6	—
4 088	Sc	19,0	25,3	1,15	11,5	13,8	9'	3.000	7,9	—	7,5	—

TABLEAU VII (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
N. G. C.	CLASSE	m_e HUBBLE	$m_e - M_e$	DISTANCE EN 10^6 PERSECS	m_n TOTALE FABRY	M_n	DIAM. DU GRAND AXE EN'	DIAM. DU GRAND AXE EN PARSECS	$m_e - m_n$ OBSERVÉE HUBBLE	$m_e - m_n$ CORRIGÉE HUBBLE	$m_e - m_n$ OBSERVÉE FABRY	$m_e - m_n$ CORRIGÉE FABRY
4 102	SBb	20,0	25,6	1,32	12,0	13,6	7'	2.680	8,0	7,4	8,0	7,6
4 192	Sb	20,2	25,8	1,44	10,9	14,9	16'	6.730	9,0	8,4	9,3	8,9
4 214	Ir	18,3	24,6	0,83	10,5	14,1	8'	1.940	7,7	8,1	7,8	8,2
4 254	Sc	19,2	25,5	1,26	> 10,4	15,1	8'	2.930	8,6	8,8	8,8	8,8
4 258	Sb	19,5	25,1	1,05	9,3	15,8	25'	7.620	9,4	8,8	10,2	9,8
4 299	Sc	19,7	26,0	1,58	12,2	13,8	5'	2.310	6,7		7,5	
4 321	Sc	19,0	25,3	1,15	9,9	15,4	20'	6.680	8,4		9,1	
4 449	Ir	17,8	24,1	0,66	9,2	14,9	12'	2.300	7,6	8,0	8,6	9,0
4 490	Sc	18,8	25,1	1,05	9,7	15,4	14'	4.270	8,4		9,1	
4 501	Sc	20,5	26,8	2,29	10,3	16,5	12'	8.000	6,7		10,2	
4 535	Sc	19,5	25,8	1,44	10,7	15,1	12'	5.050	8,4		8,8	
4 559	Sc	19,5	25,8	1,44	10,3	15,5	16'	6.750	8,9		9,2	
4 571	Sc	20,0	26,3	1,82	12,1	14,2	7'	3.700	7,3		7,9	
4 618	Ir	19,0	25,3	1,15	11,4	13,9	6'	2.000	7,6	8,0	7,6	8,0
4 631	Sc	19,0	25,3	1,15	9,4	15,9	18'	6.000	9,5		9,6	
4 651	Sc	20,0	26,3	1,82	11,5	14,8	7'	3.700	8,3		8,5	
4 654	Sc	19,7	26,0	1,58	11,0	15,0	7'	3.250	8,1		8,7	
4 656	Ir	18,7	25,0	1,00	9,5	15,5	22'	6.400	7,5	7,9	9,2	9,6
4 725	Sab	19,8	25,4	1,20	10,0	15,4	14'	4.900	9,1	8,5	9,8	9,4
4 736	Sb	17,4	23,0	0,40	8,4	14,6	20'	2.320	8,3	7,7	9,0	8,6
4 826	Sb	18,5	24,1	0,66	9,3	14,8	15'	2.900	8,9	8,3	9,2	8,8
4 900	SBc	20,5	26,8	2,29	11,9	14,9	4'	2.670	8,8		8,6	
5 055	Sb	19,2	24,8	0,92	9,4	15,4	20'	5.350	8,8	8,2	9,8	9,4
5 194-95	Sc - Ir	17,6	23,9	0,60	8,5	15,4	20'	3.500	8,2		9,1	
5 236	Sc	18,5	24,8	0,83	7,8	17,0	20'	4.840	10,0		10,7	
5 248	Sc	19,2	25,5	1,26	11,0	14,5	6'	2.200	8,1		8,2	
5 297	Sc	20,4	26,7	2,19	12,5	14,2	5'	3.200	7,5		7,9	

TABLEAU VII (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
N. G. C.	CLASSE	m_e HUBBLE	$m_e - M_e$	DISTANCE EN 10^6 PARSECS	m_n TOTALE FABRY	M_n	DIAM. DU GRAND AXE EN'	DIAM. DU GRAND AXE EN PARSECS	$m_e - m_n$ OBSERVÉE HUBBLE	$m_e - m_n$ CORRIGÉE HUBBLE	$m_e - m_n$ OBSERVÉE FABRY	$m_e - m_n$ CORRIGÉE FABRY
5 364	Sc	19,5	25,8	1,44	10,9	14,9	8'	3.360	8,0	—	—	—
5 371	Sc	20,0	25,3	1,82	11,2	15,1	8'	4.250	8,4	—	8,6	—
5 457	Sc	20,5	23,8	0,57	> 8,4	15,4	28'	4.700	8,5	—	9,1	—
5 474	Sc	19,5	25,8	1,44	> 11,4	14,4	7'	2.950	7,9	—	8,1	—
5 713	Sc	19,5	25,8	1,38	11,5	14,3	7'	2.800	7,8	—	8,0	—
5 850	SBb	20,3	25,9	1,45	12,4	13,5	6'	2.500	7,5	6,9	7,9	7,5
5 962	Sc	20,5	26,8	2,19	12,2	14,6	5	3.200	8,1	—	8,3	—
5 970	Sc	19,8	26,1	1,58	11,5	14,6	7	3.230	7,5	—	8,3	—
6 207	Sc	20,5	26,8	2,19	11,8	15,0	5	3.200	8,3	—	8,7	—
6 217	Sc	20,0	26,3	1,66	11,9	14,4	7	3.400	7,5	—	8,1	—
6 946	Sc	19,0	25,3	0,69	10,6	14,7	16	3.200	8,0	—	8,4	—
7 331	Sb	19,5	25,1	0,83	10,1	15,0	15	3.650	8,4	7,8	9,4	9,0
moyennes						15,0			8,19	8,18	8,87	8,83

sur un plus grand nombre de mesures et notamment sur la totalité des 145 nébuleuses résolues par HUBBLE sans compter celles qui vont l'être prochainement avec le télescope HALE.

13. RELATION ENTRE LES MAGNITUDES APPARENTES DES NÉBULEUSES ET CELLES DE LEURS ÉTOILES LES PLUS BRILLANTES.

Les colonnes (10) et (12) du tableau VII donnent les différences $m_e - m_n$ entre la magnitude apparente m_e des étoiles les plus brillantes d'une nébuleuse et la magnitude apparente m_n de cette nébuleuse : en (10) valeurs trouvées par HUBBLE [30] avec les magnitudes apparentes dont il disposait (généralement celles de HARVARD corrigées de $-0,1 m_{pg}$), en (12) celles tirées des magnitudes FABRY.

On a rassemblé, tableau VIII, les moyennes de ces différences pour chacune des 3 grandes classes de nébuleuses résolues. En *a*, résultats obtenus par HUBBLE avec 145 nébuleuses ; une correction de classe semble indispensable : $-0,7 m_{pg}$ pour les nébuleuses Sb et SBb (parce que leurs étoiles les plus brillantes sont en moyenne systématiquement plus faibles) et $+0,7 m_{pg}$ pour les irrégulières (parce que ces nébuleuses sont systématiquement plus faibles), afin de les réduire au système des spirales Sc et SBc.

TABLEAU VIII

Moyennes des $m_e - m_n$

— a —				— b —			
RÉSULTATS DE HUBBLE AVEC 145 NÉBULEUSES				RÉSULTATS DE HUBBLE AVEC 64 NÉBULEUSES COMMUNES A c			
CLASSE	NOMBRE	$m_e - m_n$	Δ CLASSE	CLASSE	NOMBRE	$m_e - m_n$	Δ CLASSE
—	—	—	—	—	—	—	—
Sb, SBb	16	8,57	$-0,7$	Sb, SBb	11	8,74	$-0,63$
Sc, SBc	117	7,84	0,0	Sc, SBc	48	8,11	0,0
Irrég.	11	7,15	$+0,7$	Irrég.	5	7,72	$+0,39$

— c —			
RÉSULTATS AVEC LES MAGNITUDES FABRY POUR LES 64 NÉBULEUSES COMMUNES A b			
CLASSE	NOMBRE	$m_e - m_n$	Δ CLASSE
—	—	—	—
Sb, SBb	11	9,23	$-0,40$
Sc, SBc	48	8,83	0,0
Irrég.	5	8,44	$+0,39$

En *b*, résultats de HUBBLE, mais en ne considérant que les 64 nébuleuses mesurées par la méthode FABRY. Les moyennes $m_e - m_n$ sont sensiblement plus

grandes : de $0,17 m_{pg}$ pour la classe Sb ; $0,27 m_{pg}$ pour la classe Sc et $0,57 m_{pg}$ pour les irrégulières. Les corrections de classe sont un peu plus faibles : — $0,6$ pour Sb et $+0,4$ pour les irrégulières.

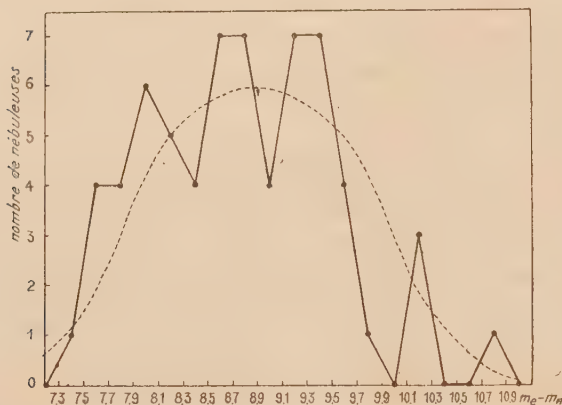


FIG. 9. — Courbe de fréquence des $m_e - m_n$ (après correction de classe) des 64 nébuleuses résolues du tableau VII.

En c , mêmes données et mêmes nébuleuses qu'en b , mais avec les magnitudes FABRY. La correction de classe est exactement la même qu'en b pour les irrégulières, mais un peu plus faible pour les classes Sb et SBb (— $0,40$ au lieu de — $0,63$).

La moyenne des $m_e - m_n$ obtenues par HUBBLE (après correction de classe) vaut : $8,18 m_{pg}$ et celle tirée des magnitudes FABRY : $8,83 m_{pg}$. Leur différence : $0,65 m_{pg}$ est entièrement imputable à l'erreur systématique affectant les magnitudes utilisées par HUBBLE.

La courbe de fréquence des $m_e - m_n$ FABRY (après correction de classe) est représentée figure 9. C'est sensiblement une courbe de GAUSS : les différences $m_e - m_n$ les plus fréquentes valent $8,9 m_{pg}$ avec une dispersion $\sigma = 1,0 m_{pg}$.

14. INFLUENCE SUR LA STRUCTURE DU SYSTÈME MÉTAGALACTIQUE DE L'ERREUR SYSTÉMATIQUE AFFECTANT LES MAGNITUDES APPARENTES DES NÉBULEUSES QUI ONT SERVI DE BASE AUX RECHERCHES STATISTIQUES :

a) Effet sur les distances :

L'effet est nul, en moyenne, sur l'évaluation des distances qui séparent les galaxies.

En effet,

1° Pour les nébuleuses résolues (150 à 200 environ) le module de distance $m_e - M_e$ (obtenu au moyen des étoiles les plus brillantes) est indépendant des magnitudes apparentes et absolues ⁽¹⁾ des nébuleuses.

2° Pour les nébuleuses non résolues, le critère de distance est le module $m_n - M_n$.

Dans l'échelle de HARVARD, les 2 termes sont affectés de la même erreur systématique, leur différence n'est donc pas affectée (avec $M_n = -14,2$). Dans une autre échelle plus correcte (FABRY par exemple) le module est encore inchangé si l'on adopte une magnitude absolue dans la même échelle ($M_n = -15,0$ par exemple).

⁽¹⁾ En réalité il existe une petite corrélation entre M_e et M_n : pour des raisons statistiques, les étoiles de plus grandes magnitudes absolues se rencontrent dans les nébuleuses les plus peuplées, donc intrinsèquement les plus brillantes.

Toutefois, les distances individuelles présenteront les écarts importants constatés dans les mesures individuelles de HARVARD.

b) *Effet sur la densité de l'espace :*

La densité moyenne ρ de l'espace actuellement exploré est très mal connue car elle dépend de 3 facteurs sur lesquels règne une assez grande incertitude :

1° le nombre moyen de galaxies par unité de volume ;

2° la masse moyenne d'une galaxie ;

3° les matériaux diffus disséminés dans l'espace extragalactique (facteur le plus incertain).

L'effet sur les distances étant nul en moyenne, les estimations du nombre des galaxies par unité de volume ne sont pas modifiées par l'erreur systématique commise sur les magnitudes apparentes.

Mais le fait d'attribuer aux galaxies la magnitude absolue moyenne — 15,0 au lieu de — 14,2 aurait pour conséquence d'en doubler l'éclat et par suite la masse. Cette augmentation de M_n est donc susceptible d'intervenir sur les estimations de la densité ρ dans le sens d'un accroissement appréciable.

Étant donnée l'importance de la densité moyenne de l'espace dans les théories de la relativité générale ⁽¹⁾ et de l'expansion de l'univers, toute retouche apportée à ce facteur peut avoir des conséquences non négligeables.

15. RELATION VITESSES RADIALES-MAGNITUDES APPARENTES DES NÉBULEUSES DU CHAMP GÉNÉRAL MESURÉES PAR LA MÉTHODE DE FABRY :

Sur la figure 10 a, on a porté, en abscisses, les magnitudes photographiques FABRY m_c (corrigées de l'absorption galactique) et en ordonnées le logarithme des vitesses radiales v_0 (corrigées du mouvement du soleil : rotation galactique), pour 47 nébuleuses du champ général, plus brillantes que 13,9.

La droite tracée à travers les points par la méthode des moindres carrés a pour équation :

$$\log v_0 = 0,21 m_c + 0,76.$$

On retrouve exactement la relation de HUBBLE [30] :

$$\log v_0 = 0,2 m_c + 0,77$$

obtenue avec 109 nébuleuses du champ général plus brillantes que 16,8 en utilisant principalement les magnitudes de HARVARD corrigées de — 0,1 m_{pg} .

⁽¹⁾ Le rayon R_1 de l'Univers d'Einstein [32] est lié à la densité moyenne ρ de la matière par l'équation : $\frac{1}{R_1^2} = \frac{k'\rho}{2}$ où k' est une constante ayant pour expression $\frac{8\pi k}{c^2}$ (k étant le coefficient de la loi d'attraction de NEWTON et c la vitesse de la lumière. Multiplier par 2 la densité moyenne ρ aurait pour conséquence de diviser par $\sqrt{2}$ le rayon R_1 .

Comme les distances d des objets ayant une magnitude absolue constante sont liées à leurs magnitudes apparentes m par la relation :

$$\log d = 0,2 m + c \quad (1) \quad \text{ou } c \text{ est une constante}$$

les vitesses radiales sont fonctions linéaires des distances.

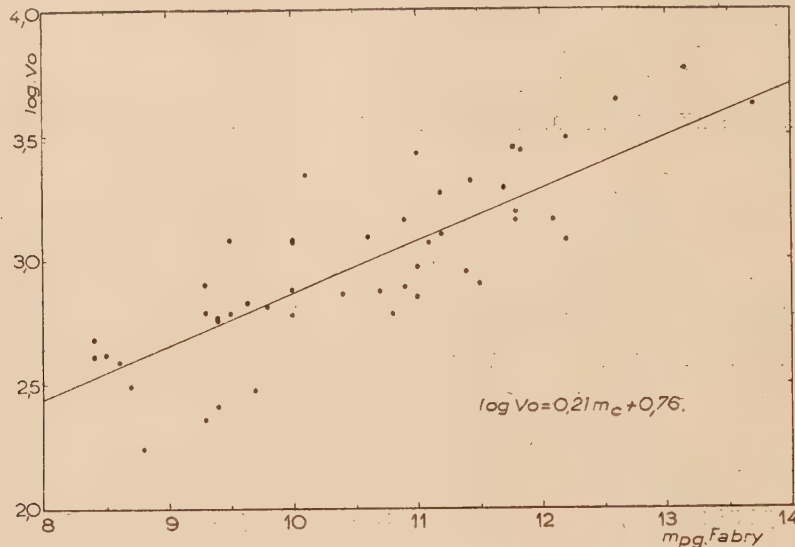


FIG. 10 a — Relation vitesses-magnitudes (FABRY) pour 47 nébuleuses du champ général.

Mais si l'on ne considère que les 47 nébuleuses de la figure 10 a et que l'on remplace, en abscisses, les magnitudes FABRY par celles de HUBBLE (figure 10 b), la meilleure droite tracée à travers les points a une équation nettement différente :

$$\log v_0 = 0,37 m_c + 0,02$$

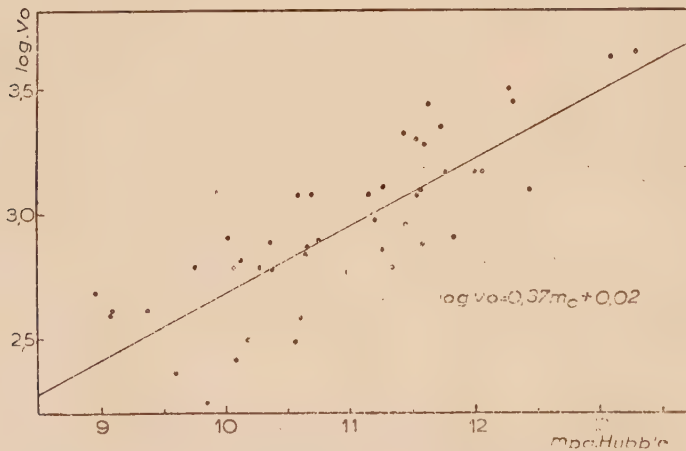


FIG. 10 b — Relation vitesses-magnitudes (HUBBLE) pour 47 nébuleuses du champ général.

Ceci provient de ce que les magnitudes de HARVARD sont systématiquement trop élevées pour les nébuleuses les plus brillantes tandis qu'elles sont à peu près correctes pour les nébuleuses faibles. Leur emploi a donc pour effet de masquer dans ce cas la loi de HUBBLE qui pourtant se manifeste déjà très nettement dans le cas des nébuleuses brillantes, de vitesses radiales relativement faibles, à condition d'utiliser de bonnes magnitudes apparentes.

(1) Autre forme de la relation : $m - M = -5 + 5 \log d$.

TROISIÈME PARTIE

COMPARAISONS PHOTOMÉTRIQUES DES NÉBULEUSES ENTRE ELLES

16. INTRODUCTION.

La méthode de FABRY est lente et son rendement trop faible pour permettre d'entreprendre des mesures systématiques nombreuses. On a vu que la comparaison directe des nébuleuses à des étoiles n'est pas susceptible de donner des résultats corrects pas plus d'ailleurs que la comparaison des images extrafocales qui laisse subsister une erreur systématique importante.

La comparaison, soit par la méthode de SCHILT, soit par la méthode extra-focale ou de la Schraffierkassette, de nébuleuses à d'autres nébuleuses de magnitudes bien déterminées, ne pourrait-elle pas, par contre, permettre des mesures correctes ? De tels essais n'ont, à ma connaissance, jamais été faits. La séquence Virgo, établie par la méthode FABRY peut permettre une étude critique expérimentale de ces moyens de comparaison et l'appréciation de leur degré d'exactitude.

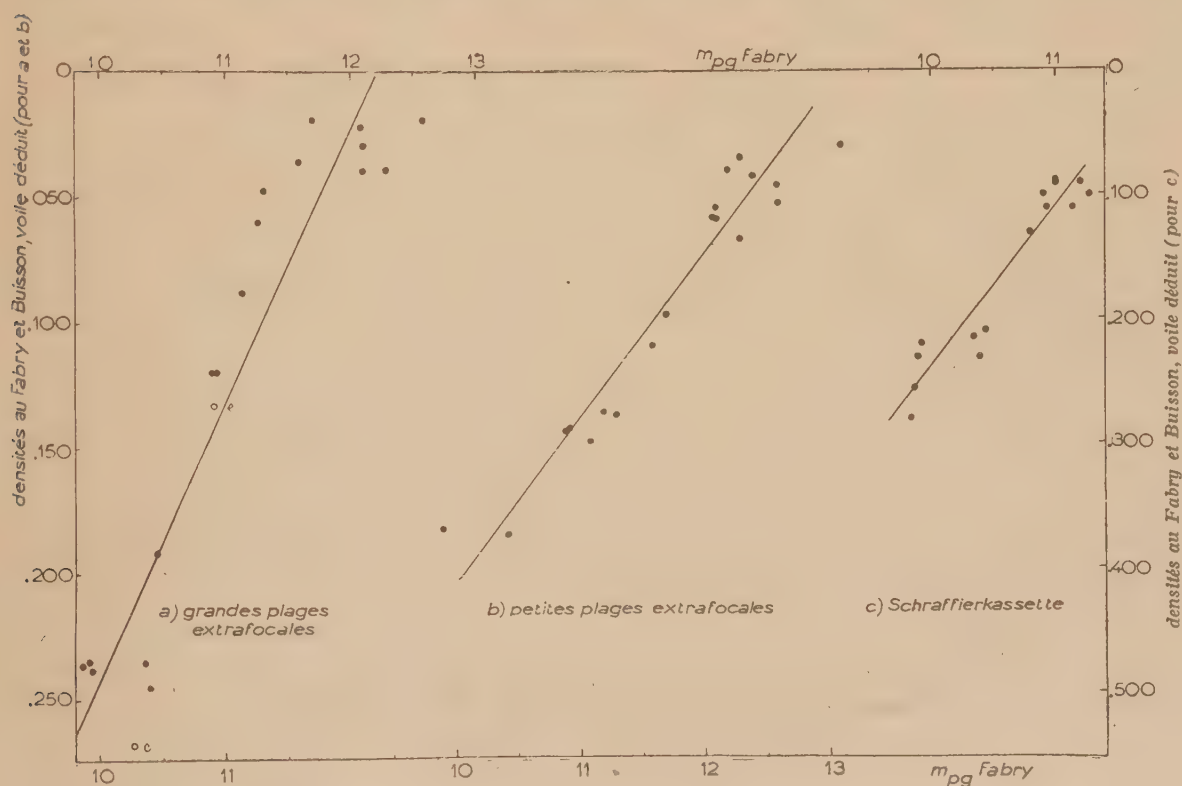


FIG. 11. — Essais des méthodes extrafocale et de la Schraffierkassette.

17. COMPARAISON DES NÉBULEUSES ENTRE ELLES PAR LA MÉTHODE EXTRA-FOCALE.

La chambre ZEISS de l'Observatoire de Lyon ne donne pas des images extra-focales de densité uniforme ; on y observe nettement la caustique d'une aberration de sphéricité appréciable : tache centrale et couronne marginale beaucoup plus denses.

Pour contrôler cette méthode, je disposais de 2 clichés extrafocaux posés une heure — plaques Superfulgur — sur la séquence Virgo, avec le grand astrographe ZEISS de l'Observatoire de Nice ($0 = 40$ cm ; $F = 200$ cm). Les plages sont uniformes sauf dans les coins où apparaît une légère ovalisation astigmatique dans le sens de la focale tangentielle.

Sur l'un des clichés, ces plages ont un diamètre de 1,5 mm et sur l'autre 4 mm. Ils sont malheureusement voilés dans les coins et n'ont pu être utilisés sur toute leur surface. En portant en abscisses les magnitudes FABRY des nébuleuses et en ordonnées les densités correspondantes des plages — voile de la plaque déduit, mesures effectuées au microphotomètre FABRY et BUISSON — on obtient les graphiques *a* et *b* (figure 11). La dispersion des points est assez considérable : les 2 plus grands écarts sont d'environ $0,5 m_{pg}$ dans le cas des grandes plages (18 nébuleuses) en *a* et $0,4$ avec les petites plages (20 nébuleuses) en *b*. Les écarts moyens par rapport aux droites tracées valent respectivement $\pm 0,27 m_{pg}$ et $\pm 0,22 m_{pg}$. En *a* les cercles *c* et *e* concernent des étoiles de comparaison de la séquence Virgo.

18. ESSAI D'UNE MÉTHODE DE LA SCHRAFFIERKASSETTE SIMPLIFIÉE.

Ne disposant pas de châssis mobile, on a étalé les images au cours du guidage par le procédé utilisé habituellement pour élargir les spectres stellaires mais en donnant, en outre, de petits déplacements réguliers en déclinaison au cours des différents passages. Deux clichés ont ainsi été pris, sur la séquence Virgo avec le télescope SCHMIDT de Lyon.

Les images de l'un des clichés sont assez régulièrement étalées, en forme de petits carrés de 1,5 mm de côté, pour que la densité puisse être mesurée à l'intérieur de ces plages. On voit en *c*, figure 11, les résultats de cette méthode. Les points sont mieux groupés que dans les cas des clichés extrafocaux : le plus grand écart atteint $0,30 m_{pg}$ et 13 écarts sur 15 sont inférieurs ou au plus égaux à $0,20 m_{pg}$; l'écart moyen des 15 points par rapport à la moyenne est de $\pm 0,13 m_{pg}$.

Ces quelques essais sont beaucoup trop sommaires pour qu'on puisse en tirer des conclusions définitives et tout ce travail est à reprendre avec des données d'observation plus complètes et de meilleurs documents.

19. LA MÉTHODE DE SCHILT.

On ne reviendra pas sur le principe ni la description de cette méthode bien sou-

vent employée en photométrie stellaire ; cependant il est nécessaire d'insister sur un détail technique très important en photométrie des nébuleuses : la mesure des densités doit être faite avec une très grande précision y compris celle du voile de la plaque de part et d'autre de l'image nébulaire ou mieux tout autour en 3 ou 4 régions grossièrement symétriques. En effet, ainsi qu'on l'a déjà constaté avec la méthode FABRY, la brillance d'une nébuleuse à laquelle vient s'ajouter celle du ciel nocturne n'est pas beaucoup plus grande que celle du ciel nocturne seul et une faible erreur sur la densité introduit une erreur appréciable sur la magnitude. Quelle que soit la méthode employée, c'est la très faible brillance des nébuleuses qui constitue la principale difficulté des mesures photométriques précises de ces objets. Mais le fait de travailler en des points voisins de la courbe de noircissement a par contre l'avantage d'atténuer les erreurs de mesure : toute différence d'éclairement d'un point à l'autre du champ ou de réponse de la plaque photographique se répercute quasi-également sur l'aire de la nébuleuse et sur celles très voisines où l'on mesure la densité du voile. En retranchant la densité moyenne du voile, on corrige donc d'une manière satisfaisante l'effet de distance au centre et la plus grosse partie des erreurs dues aux variations de sensibilité locale de l'émulsion.

Il faut aussi tenir compte, quand cela est nécessaire, de la présence d'étoiles de premier plan et choisir des fonds de comparaison aussi semblables que possible à ceux des nébuleuses.

A) Conditions d'application de la méthode de Schilt.

La méthode de SCHILT peut paraître inapplicable *a priori* à la photométrie des nébuleuses dont les images présentent de grandes différences de forme, d'étendue et de brillance.

Pour que la grandeur G mesurée par la méthode de SCHILT (avec le photomètre LALLEMAND par exemple) soit indépendante de la surface de l'image s , dont la plus grande dimension est bien entendu toujours inférieure au diamètre du diaphragme utilisé, il faut que :

$$\frac{\delta G}{\delta s} = 0$$

Exprimons la grandeur G mesurée par la méthode de SCHILT : le flux lumineux qui passe à travers le diaphragme de surface S vaut (fig. 12) :

$$(S - s)I_0 + sI$$

où I_0 exprime l'éclairement qui passe dans le diaphragme, en dehors de la tache nébulaire et I l'éclairement à travers la tache (I est bien entendu très variable d'un point à l'autre de l'image).

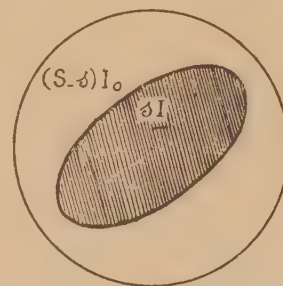


FIG. 12. — Flux lumineux qui passe à travers le diaphragme de surface S du SCHILT.

Si d est la densité moyenne de la nébuleuse, on peut écrire :

$$1 = 1_0 10^{-d}$$

et par suite :

$$(S - s) 1_0 + s 1_0 10^{-d}$$

et la grandeur mesurée au LALLEMAND est le rapport :

$$(1) \quad G = \frac{(S - s) 1_0 + s 1_0 10^{-d}}{S 1_0}$$

$$= 1 - \frac{s}{S} (1 - 10^{-d}).$$

Évaluons 10^{-d} :

La pente γ de la partie rectiligne de la courbe caractéristique (fig. 13) s'exprime par :

$$\gamma = \frac{d}{\log e - \log i}$$

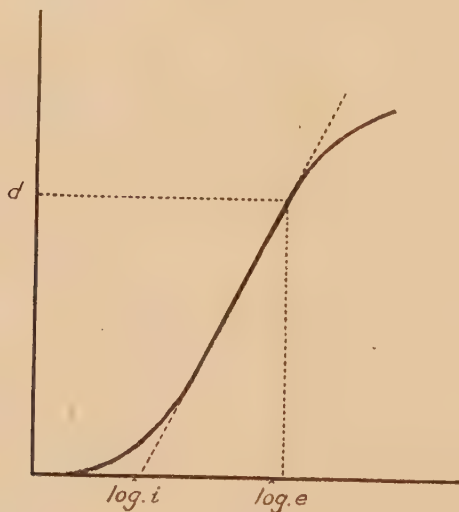


FIG. 13. — Courbe caractéristique d'une émulsion photographique.

d'où l'on tire :

$$(2) \quad d = \gamma \log \frac{e}{i}$$

$$= \log \left(\frac{e}{i} \right)^\gamma$$

d'où :

$$-d = \log \left(\frac{e}{i} \right)^{-\gamma}$$

et

$$\log 10^{-d} = \log \left(\frac{e}{i} \right)^{-\gamma}$$

ou

$$10^{-d} = \left(\frac{e}{i} \right)^{-\gamma}$$

en portant cette valeur dans (1) on obtient :

$$(3) \quad \begin{aligned} G &= 1 - \frac{s}{S} \left[1 - \left(\frac{e}{i} \right)^{-\gamma} \right] \\ &= 1 - \frac{s}{S} + \frac{s}{S} \left(\frac{i}{e} \right)^{\gamma}. \end{aligned}$$

On peut exprimer l'éclairement e produit par un flux lumineux φ qui se répartit sur une surface s par :

$$(4) \quad e = \frac{\varphi}{s}$$

en substituant (4) dans (3) on obtient :

$$(5) \quad G = 1 - \frac{s}{S} + \frac{i^{\gamma}}{\varphi^{\gamma}} \cdot \frac{1}{S} \cdot s^{\gamma+1}.$$

écrivons que

$$\frac{\delta G}{\delta s} = 0 :$$

$$-\frac{1}{S} + \frac{i^{\gamma}}{\varphi^{\gamma}} \cdot \frac{1}{S} (\gamma + 1) s^{\gamma} = 0$$

ou

$$\frac{i^{\gamma}}{\varphi^{\gamma}} \cdot (\gamma + 1) s^{\gamma} = 1$$

et

$$(\gamma + 1)^{\frac{1}{\gamma}} s = \frac{\varphi}{i}$$

or d'après (4) :

$$(\gamma + 1)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{e}{i}$$

ou

$$\log (\gamma + 1) = \gamma \log \frac{e}{i}$$

et d'après (2) :

$$d = \log (\gamma + 1).$$

Telle est la densité au voisinage de laquelle il faudrait travailler pour que la mesure au SCHILT soit indépendante de l'étendue de la plage à mesurer.

Avec un facteur de contraste 2, la densité optima serait environ 0,5. Elle pourrait être portée à 0,6 ou 0,7 en utilisant des plaques plus lentes à contraste élevé. D'après le calcul ci-dessus, on serait conduit à n'utiliser que des clichés très clairs donc peu propices à l'enregistrement des nébuleuses.

B) *Essais expérimentaux.*

J'ai essayé assez longuement la méthode de SCHILT sur divers clichés de la séquence Virgo obtenus au télescope SCHMIDT de l'Observatoire de Lyon et sur un cliché tiré à la chambre ZEISS de l'Observatoire de Haute-Provence ($O = 17$ cm ;

$F = 120$ cm). Tous ces clichés ont des densités de fond beaucoup plus grandes que la valeur optima calculée ci-dessus (entre 1,0 et 1,5 environ) pour des γ voisins de 2.

Les figures 14 et 15 traduisent les résultats donnés par les clichés suivants pris au télescope SCHMIDT :

Figures 14 *a* et *b* :

a) cliché 496 sur film Ilford " Ordinary, fine grain ", pose 60 m, le 9 avril 1948 à

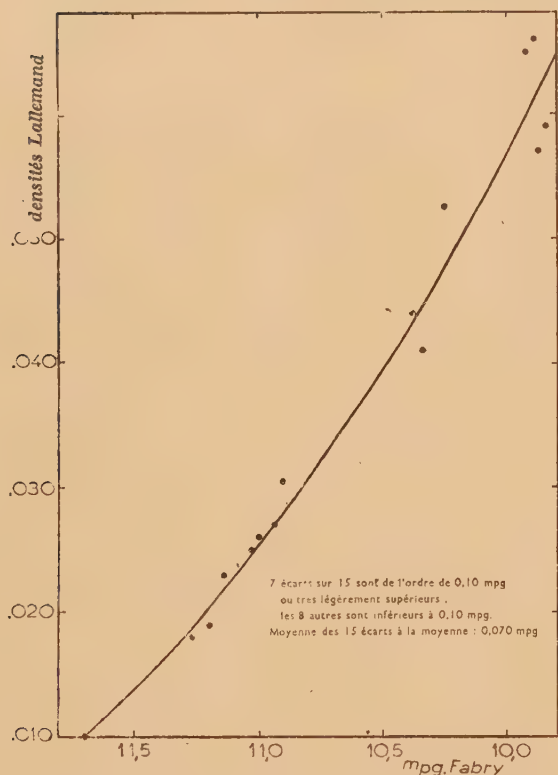


FIG. 14 *a*. — Essais de la méthode de SCHILT sur un cliché tiré au SCHMIDT, densités mesurées au LALLEMAND avec le grand diaphragme.

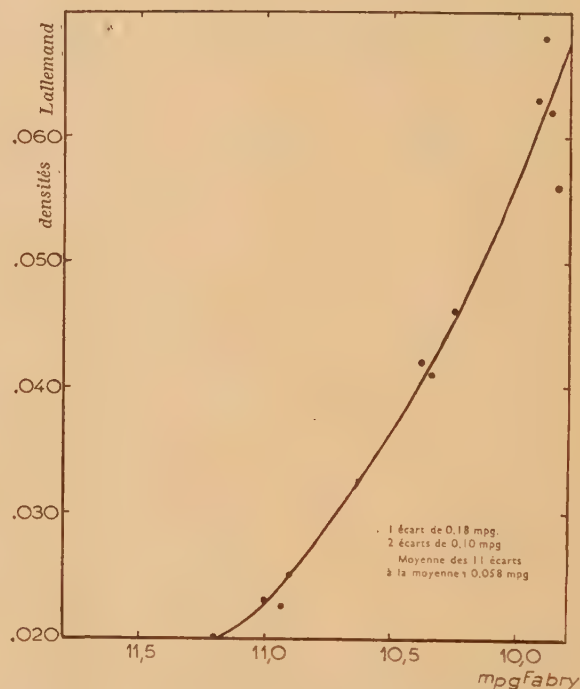


FIG. 14 *b*. — Essais de la méthode de SCHILT sur un cliché tiré au SCHMIDT, densités mesurées au LALLEMAND avec le grand diaphragme.

21 h 21 T. U., centre du cliché : étoile 6 Com. Ber., ciel pur. Mesures des densités effectuées au LALLEMAND avec le plus grand diaphragme (n° 1).

b) Cliché 334, film Kodak-Pathé U V 2447, pose 10 m, le 19 janvier 1947 à 2 h 06 T. U., centre du cliché : étoile 6 Com. Ber., ciel pur. Mesures au LALLEMAND avec le diaphragme n° 1.

Figure 15 *a* — *b* et *c* :

a) Cliché 496, mesures au FABRY et BUISSON avec un diaphragme de 3,5 mm.

b) Cliché 489, film Kodak-Pathé Super Speed Ortho., pose 20 m, le 15 février 1948 à 2 h T. U., ciel très beau, centre du cliché : étoile ρ Virgo.

Mesures au FABRY et BUISSON, avec un diaphragme de 3,5 mm.

c) Cliché 489, mesures au FABRY et BUISSON avec un diaphragme de 2 mm.

Pour tous ces clichés, les plus grands écarts à la moyenne dépassent rarement et de très peu $0,20 m_{pg}$. On a indiqué sur chacun des graphiques les écarts maxima constatés ainsi que l'écart moyen par rapport à la meilleure courbe tracée à travers les points. La moyenne générale de tous les écarts relatifs aux 5 courbes est de :

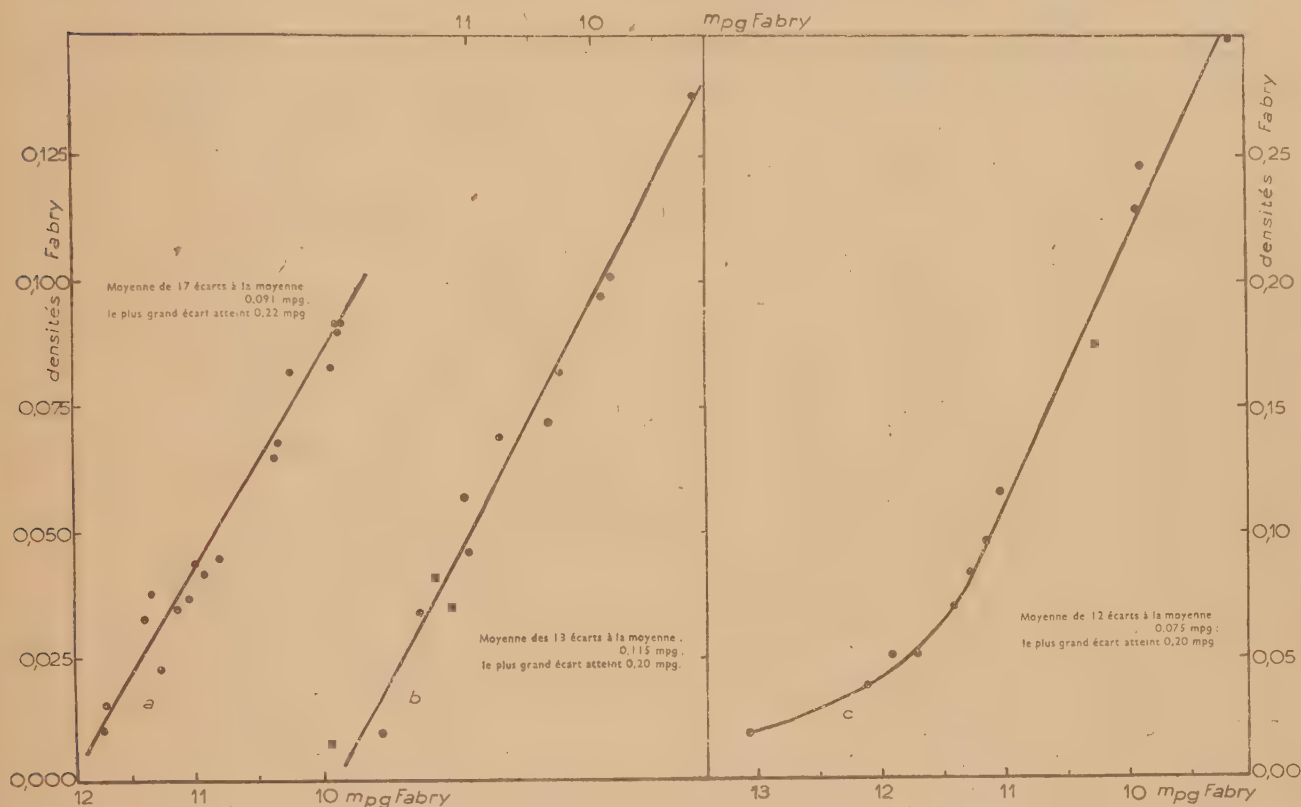


FIG. 15 a, b, c. — Essais de la méthode de SCHILT sur des clichés tirés au SCHMIDT, densités mesurées au microphotomètre FABRY et BUISSON.

$\pm 0,082 m_{pg}$. Ils ne semblent revêtir aucune allure systématique relativement à la classe, à la forme ou au diamètre apparent de la nébuleuse. De plus, pour un même objet, ils changent assez souvent de sens quand on passe d'une figure à l'autre.

Ces écarts sont donc entièrement imputables, semble-t-il, aux erreurs de mesure des densités. L'emploi d'une émulsion orthochromatique (à défaut d'une autre) ne paraît pas avoir eu d'influence sur les mesures de ces objets de couleurs peu différentes.

Les résultats sont moins bons avec le cliché tiré à la chambre ZEISS : (le 24 mars 1950 à 23 h T. U., pose 3 heures sur plaque Eastman-Kodak 103 à 0 ; ciel pur, fin croissant de lune pendant la 1^{ère} heure de pose ; centre approximatif du

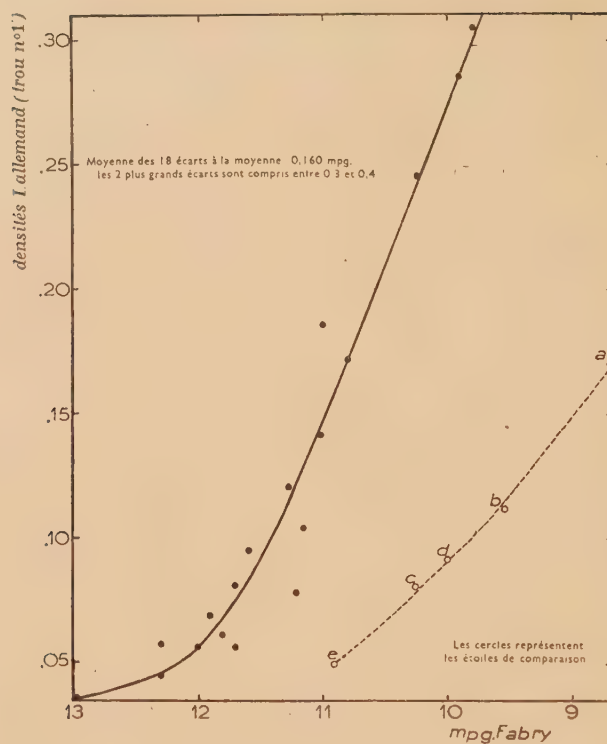


FIG. 16 a. — Essais de la méthode de SCHILT (cliché au ZEISS : grandes nébuleuses).

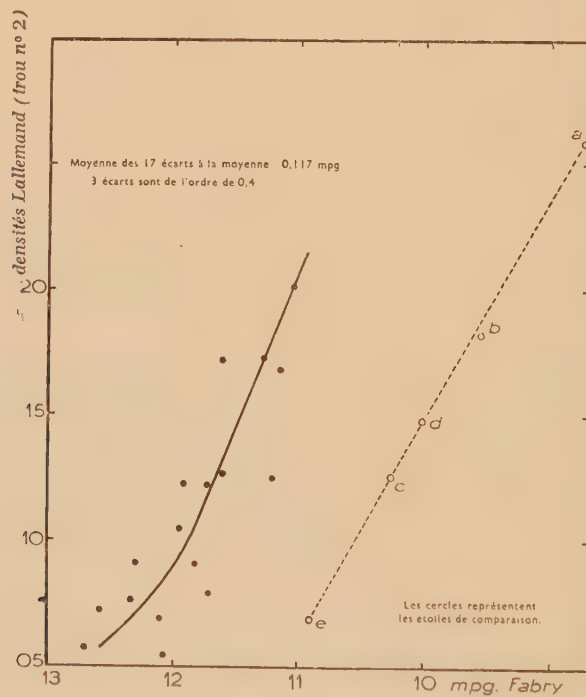


FIG. 16 b. — Essais de la méthode de SCHILT (cliché au ZEISS : nébuleuses moyennes).

cliché pour 1950 : $\alpha = 12^{\text{h}} 20^{\text{m}}$; $\delta = +13^{\circ} 53'$). Les figures 16 *a* et *b* donnent la relation entre les densités et les magnitudes FABRY et permettent d'apprécier l'importance des écarts. Pour l'ensemble des 4 séries de mesures (au total 48) effectuées au "LALLEMAND" avec les diaphragmes 1, 2, 3 et 4, l'écart moyen vaut : $\pm 0,154$.

C) *Magnitudes photographiques déterminées par la méthode de Schilt :*

Pour terminer, on donne dans le tableau IX les premiers résultats obtenus par la méthode de SCHILT et relatifs à 151 nébuleuses. Les mesures ont toutes été faites par comparaison directe à la séquence Virgo sur les 4 clichés cités ci-dessus et sur les 6 clichés suivants pris au SCHMIDT de Lyon :

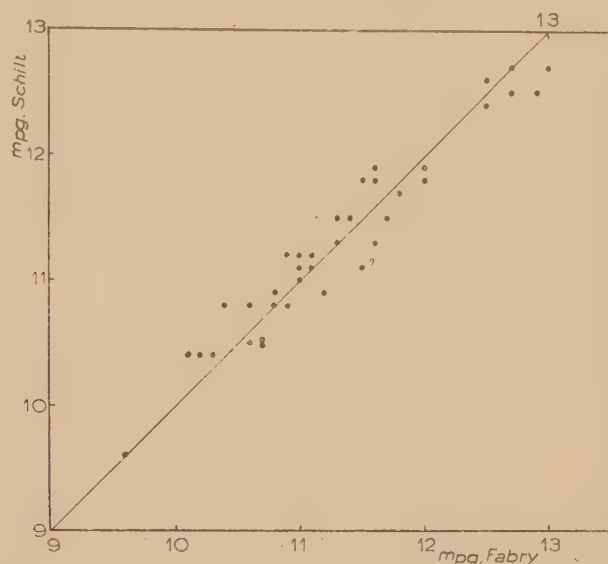


FIG. 17. — Comparaison des magnitudes « SCHILT » aux magnitudes « FABRY ».

n^o 331 — film Kodak-Pathé UV 2 447, pose 10 m, le 19 janvier 1947 à 1 h 08 m T. U. centre du cliché : étoile γ Ursae majoris, ciel pur.

n^o 332 — film Kodak-Pathé UV 2 447, pose 10 m, le 19 janvier 1947 à 1 h 28 m T. U., centre du cliché : étoile χ Ursae majoris, ciel pur.

n^o 488 — film Kodak-Pathé, Super-Speed-Ortho ; pose 20 m, le 15 février 1948 à 1 h 30 T. U. ; centre du cliché : étoile ϵ 16 Virgo ; ciel très clair.

n^o 497 — film Ilford " Ordinary fine grain " ; pose 60 m., le 9 avril 1948 à 22 h 34 T. U. ; centre du cliché : étoile γ Ursae majoris ; ciel pur.

n^o 498 — film Ilford " Ordinary fine grain " ; pose 60 m, le 9 avril 1948 à 23 h 47 m T. U. ; centre du cliché : étoile χ Ursae majoris ; ciel pur.

n^o 499 — film Ilford " Ordinary fine grain ", pose 60 m, le 10 avril 1948 à 1 h 07 m T. U. ; centre du cliché : étoile 27 Ursae majoris ; ciel pur.

Les différentes colonnes du tableau IX donnent successivement :

— Le numéro du N. G. C. ou de l'I. C.

- La magnitude photographique dans l'échelle de HARVARD.
- La magnitude photographique déterminée par la méthode FABRY et le poids de 1 à 5.
- Les différentes mesures indépendantes par la méthode de SCHILT.
- La moyenne de ces mesures qui constitue la magnitude finale adoptée.

A titre de contrôle, on a considéré les 38 nébuleuses étudiées à la fois par la méthode FABRY et par la méthode de SCHILT et porté les mesures sur la figure 17 ; en abscisses : les magnitudes FABRY, en ordonnées les magnitudes SCHILT.

On ne constate pas d'erreur systématique entre les 2 séries de mesures : 6 mesures identiques, 16 écarts dans un sens et 16 dans l'autre. Les 3 plus grands écarts atteignent 0,4 m_{pg} et l'erreur moyenne d'une observation individuelle est de $\pm 0,22 m_{pg}$.

Il ne paraît donc pas douteux qu'on puisse comparer les nébuleuses entre elles par la méthode de SCHILT, même en se plaçant assez loin des conditions de densité optima. Il est possible d'obtenir ainsi très rapidement des mesures systématiques correctes avec une précision moyenne de l'ordre de $\pm 0,20$ magn.

TABLEAU IX

Premiers résultats donnés par la méthode de Schilt

NÉBULEUSES	m_{pg} HARVARD	m_{pg} FABRY ET POIDS DE 1 A 5	m_{pg} SCHILT	MOYENNE SCHILT ADOPTÉE
N. G. C. 2 787	12,1	11,6 4	11,93	11,9
2 976	11,2	10,8 4	10,78	10,8
2 985	—	11,2 4	10,78 ; 10,96	10,9
3 077	11,4	10,7 5	10,40 ; 10,54	10,5
3 147	11,9	11,1 4	11,19 ; 11,21	11,2
3 583	12,2	— —	11,65 ; 11,76	11,7
3 614	12,9	— —	11,93 ; 12,25	12,1
3 631	11,8	10,4 3	10,81 ; 11,08 ; 10,60	10,8
3 656	—	— —	12,45	12,4
3 657	—	— —	12,50	12,5
3 675	11,8	— —	10,46 ; 10,63	10,5
3 677	—	— —	12,95	12,9
3 683	13,2	— —	12,56 ; 12,18	12,4
3 726	11,7	10,6 3	10,50 ; 10,60	10,5
3 729	13,0	11,6 2	11,82 ; 11,70 ; 11,76	11,8
3 733	—	— —	11,31 ; 11,73	11,5
3 738	12,2	11,3 3	11,48 ; 11,62	11,5
3 741	—	— —	13,2 ? ; 13,6 ?	13,4 ?

TABLEAU IX (suite)

NÉBULEUSES	m_{pg} HARVARD	m_{pg} FABRY ET POIDS DE 1 A 5		m_{pg} SCHILT	MOYENNE SCHILT ADOPTÉE
N. G. C. 3 756	12,5	11,8	3	11,62 ; 11,90 ; 11,53 ; 11,62	11,7
3 769	12,5	—	—	11,96 ; 12,03	12,0
3 782	12,9	—	—	12,34 ? ; 12,32	12,3
3 804	—	12,5	2	12,57 ; 12,74	12,6
3 829	—	—	—	13,10 ? ; 13,08 ?	13,1 ?
3 838	—	—	—	12,50	12,5
3 877	12,0	—	—	11,65 ; 11,63 ; 11,65 ? ; 11,45	11,6
3 888	13,0	12,7	2	12,86 ; 12,47	12,7
3 893	11,0	10,6	3	10,77 ; 10,84 ; 10,73 ; 10,96 10,98	10,8
3 898	12,0	10,9	3	11,24	11,2
3 916	—	13,4 ?	1	12,30 ; 12,61	12,5
3 917	12,8	—	—	11,92 ; 11,96 ; 11,70 ; 12,04	11,9
3 949	11,6	11,3	2	11,14 ; 11,38 ; 11,41 ; 11,40	11,3
3 953	11,5	10,2	2	10,52 ; 10,40 ; 10,56 ; 10,36	10,4
3 958	—	—	—	12,76	12,8
3 963	12,7	—	—	11,78 ; 11,65	11,7
3 982	11,8	11,5	4	11,74 ; 12,15	11,8
3 985	12,9	—	—	12,88 ; 13,10	13,0
3 992	11,2	10,3	4	10,40 ; 10,40	10,4
3 998	11,6	11,4	4	11,37 ; 11,56	11,5
4 010	—	—	—	12,29 ; 12,50	12,4
4 013	12,7	—	—	11,65 ; 11,37 ; 11,63 ; 11,58	11,6
4 026	12,0	—	—	11,72 ; 11,84 ; 11,70 ; 11,63 ? 11,60 ; 11,86 ; 11,76	11,7
4 037	12,8	—	—	12,40 ; 12,33	12,4
4 045	12,8	—	—	12,34	12,3
4 047	12,8	—	—	12,29 ; 12,60 ; 12,66	12,5
4 051	11,7	10,7	2	10,33 ; 10,56 ;	10,5
4 064	12,8	—	—	12,15 ? ; 11,74 ; 11,92	11,9
4 088	11,2	11,5 ?	1	10,95 ; 10,91 ; 11,25 ; 11,14	11,1
4 096	12,2	11,1	1	10,99 ; 11,25	11,1
4 100	11,9	11,7	3	11,65 ; 11,29 ; 11,53 ; 11,49 11,45 ; 11,30 ; 11,50 ; 11,38	11,5
4 102	12,1	12,0	2	11,67 ; 11,81	11,8
4 116	12,4	—	—	11,84	11,8
4 123	12,3	—	—	11,43	11,4
4 124	12,5	12,0	2	11,76 ; 11,95 ; 12,02	11,9

TABLEAU IX (*suite*)

NÉBULEUSES	m_{pg} HARVARD	m_{pg} FABRY ET POIDS DE 1 A 5	m_{pg} SCHILT	MOYENNE SCHILT ADOPTÉE
N. G. C. 4 144	12,4	—	—	11,5
4 152	12,7	12,7	2	12,5
				12,24
4 157	12,0	—	—	11,4
4 165	—	—	—	13,5 ?
4 178	12,4	—	—	11,5
4 179	11,8	—	—	12,0 ?
4 215	12,8	—	—	12,6 ?
4 217	11,9	—	—	11,3
4 220	12,4	—	—	11,9
4 222	—	—	—	12,4
4 234	13,0	—	—	12,4
4 260	12,7	—	—	12,3
4 273	12,2	—	—	11,6
4 281	12,2	—	—	11,9
4 293	11,7	11,0	2	11,2
4 298	12,5	—	—	11,5
				11,54 ; 11,60
{ 4 298	—	—	—	10,82 ; 11,15 ; 11,24
{ 4 302	—	—	—	11,1
4 305	—	—	—	13,00 ; 12,76
4 306	—	—	—	13,31 ; 13,00 ?
4 312	—	—	—	11,75 ; 12,04
4 313	—	—	—	12,10 ; 12,20 ; 12,25 ; 12,04
4 324	12,5	—	—	12,34
4 351	—	—	—	12,66 ; 12,58 ; 12,61 ; 12,38
				12,48
4 352	—	—	—	13,14
4 378	12,8	—	—	11,84
4 379	13,0	—	—	12,60 ; 12,28 ; 12,25
4 380	12,8	—	—	11,66 ; 11,73 ; 11,68
4 383	12,9	—	—	12,48 ; 12,53 ; 12,66 ; 12,23
				12,52
4 388	12,2	—	—	11,73 ; 11,66 ; 11,56 ; 11,44
				11,42 ; 11,56
4 390	—	—	—	12,82
4 396	—	—	—	12,44 ; 12,76
4 402	—	—	—	12,20 ? ; 12,30 ? ; 12,50
				12,21

TABLEAU IX (suite)

NÉBULEUSES	m_{pg} HARVARD	m_{pg} FABRY ET POIDS DE 1 A 5	m_{pg} SCHILT	MOYENNE SCHILT ADOPTÉE
N. G. C. 4 412	12,8	—	—	12,20 ? ; 12,53
4 413	—	12,9	2	12,53 ; 12,45 ; 12,32 ; 12,56
4 417	12,3	—	—	11,80
4 419	12,2	—	—	12,00 ; 12,11 ; 12,07 ; 12,00
4 424	12,6	—	—	11,91
4 425	13,1	13,0	1	12,80 ? ; 12,70 ; 12,58 ; 12,63
4 429	11,7	—	—	11,10 ; 11,11 ; 10,86 ; 11,05
4 431	—	—	—	13,22 ; 13,39 ? ; 13,20 ?
4 436	—	—	—	13,36 ? ; 13,20 ?
4 438	11,9	11,0	2	10,82 ; 11,00 ; 11,12 ; 11,21 11,01 ; 10,98 ; 11,16
4 442	11,4	—	—	11,66 ? ; 11,64
4 450	11,4	10,8	2	10,90 ; 10,95 ; 10,82 ; 10,72 10,98 ; 11,12
4 451	—	—	—	12,61
4 452	13,2	—	—	13,0 ? ; 12,84
4 457	11,7	—	—	11,65
4 459	11,9	11,6	2	11,38 ; 11,27 ; 11,24 ; 11,32 11,20 ? ; 11,07 ; 11,47 ; 11,31
4 468	—	—	—	13,23 ; 12,90 ; 13,3 ?
4 469	12,5	—	—	11,83
4 474	12,9	12,6	1	12,36 ; 12,38 ; 12,60 ; 12,27 12,28 ; 12,60 ; 12,44
4 491	—	—	—	12,96 ; 13,02
4 496	12,0	—	—	11,46
4 497	—	—	—	12,82 ; 12,98
4 498	—	—	—	12,04 ; 12,23 ; 12,40 ; 12,28
4 506	—	—	—	13,18 ; 13,14 ; 12,90 ? 12,94
4 516	—	—	—	13,20 ; 13,28
4 517	11,6	—	—	11,24
4 519	12,6	—	—	11,96 ; 11,74
4 526	10,7	—	—	10,72 ; 10,96 ; 11,00
4 527	11,3	—	—	11,46
4 531	—	—	—	11,88 ; 12,16 ; 12,15 ; 12,00 11,94
4 532	12,1	—	—	11,93 ; 11,80
4 536	11,2	—	—	11,10
4 540	12,9	—	—	12,28 ; 12,28 ; 11,96 ; 12,00

TABLEAU IX (*suite et fin*)

NÉBULEUSES	m_{pg} HARVARD	m_{pg} FABRY ET POIDS DE 1 A 5		m_{pg} SCHILT	MOYENNE SCHILT ADOPTÉE
N. G. C. 4 551	—	—	—	12,86 ; 12,72 ; 12,76	12,8
4 564	12,1	—	—	12,13 ; 12,23 ; 12,46	12,3
4 567	12,3	—	—	11,47	11,5
4 568	12,2	—	—	11,80	11,8
{ 4 567	—	—	—	10,95 ; 11,01 ; 11,22	11,1
{ 4 568	—	—	—		
4 569	11,2	10,1	2	10,24 ; 10,55 ; 10,41 ?	10,4
4 570	12,0	—	—	11,80	11,8
4 578	12,5	—	—	11,86	11,9
4 579	11,0	—	—	10,44 ; 10,46 ; 10,77	10,5
4 580	12,8	—	—	12,41 ; 12,31	12,4
4 586	13,0	—	—	11,71	11,7
4 596	12,2	—	—	11,42 ; 11,17	11,3
4 608	12,7	—	—	11,96	12,0
4 612	12,6 :	—	—	12,10	12,1
4 621	11,4	10,9	3	11,01 ; 10,64	10,8
4 638	12,2	—	—	12,48 ?	12,5 ?
4 639	12,3	—	—	12,31	12,3
4 647	12,0	—	—	10,96 ; 11,12	11,0
4 649	10,6	—	—	9,87 ; 9,76	9,8
{ 4 647	—	9,5	5	9,54	9,5
{ 4 649	—	—	—		
4 654	11,7	11,0	4	10,94 ; 11,30	11,1
4 660	12,3	—	—	11,70	11,7
4 689	12,0	—	—	11,22 ; 11,41	11,3
4 694	12,6	—	—	12,00	12,0
4 698	12,2	—	—	11,41	11,4
4 710	12,0	—	—	11,57 ; 11,80	11,7
4 754	12,0	—	—	11,36	11,4
4 762	11,8	—	—	11,07 ; 11,00	11,0
4 795	13,1	—	—	12,71	12,7
4 880	13,1	—	—	11,84 ?	11,8 ?
I. C. 3 044	15,0	—	—	13,60 ? ; 13,57	13,6
— 3 258	14,6	—	—	13,11 ; 13,31 ; 13, 4 ? ; 13, 1 ? 13,1 ?	13,2
— 3 311	14,9	—	—	13,8 ? ; 13,6 ?	13,7 ?
— 3 392	14,0	—	—	13,10 ; 12,68 ; 12,90 ; 12,70	12,8
— 3 476	13,6	—	—	12,58 ; 12,24 ; 12,70 ?	12,5

Néanmoins, et il est nécessaire d'insister fortement sur ce point, pour donner des résultats satisfaisants, l'application de cette méthode exige beaucoup de précautions expérimentales et de soin dans les mesures. Les densités notamment doivent être mesurées avec une précision extrême, tant celles des images nébulaires que celles du voile de fond du cliché ; un microphotomètre « LALLEMAND » semble indispensable pour ce travail.

De plus, la chambre photographique employée a peut-être une certaine influence sur la qualité des mesures ; le télescope de SCHMIDT [17] utilisé au cours de ce travail semble très bien adapté pour les nébuleuses qui ont été mesurées par cette méthode.

CONCLUSION

On a mis au point une méthode de travail pour effectuer correctement la photométrie globale des nébuleuses extragalactiques, puis appliqué cette méthode à 175 objets sur lesquels on a fait des mesures répétées. La très importante correction due à la brillance du ciel nocturne n'a pas permis de dépasser une précision d'environ $\pm 0,1$ magn. pour la moyenne de 3 ou 4 observations.

40 nébuleuses, mesurées avec tout le soin possible, constituent une première séquence photographique ; il sera sans doute nécessaire de l'améliorer et surtout de l'étendre en y ajoutant des nébuleuses de plus en plus faibles.

En comparant ces mesures à celles obtenues par les autres méthodes, on a constaté que certaines de ces méthodes sont incorrectes et ne doivent plus être employées en photométrie des nébuleuses. Il s'agit malheureusement des plus expéditives qui avaient donné les résultats les plus nombreux.

D'une manière générale, ces méthodes rapides ont conduit à sous-estimer l'éclat des nébuleuses et par suite leur magnitude absolue moyenne qu'il semblerait opportun de porter de $-14,2$ à $-15,0$.

Il était nécessaire de mesurer ainsi un certain nombre de nébuleuses par une méthode fondamentale afin de disposer de magnitudes standard précises. Mais il serait également très utile de pouvoir obtenir très vite des milliers de magnitudes correctes. On ne peut songer à utiliser pour cela la méthode de FABRY beaucoup trop lente.

La dernière partie de ce mémoire avait précisément pour objet de rechercher une méthode systématique et d'en faire un premier essai d'application.

Il semble bien qu'en utilisant les nébuleuses standard de comparaison et en s'imposant une technique rigoureuse de travail et de mesure, on puisse obtenir par la méthode de SCHILT, des magnitudes correctes suffisamment précises. Déjà des télescopes de SCHMIDT de dimensions modestes, comme les deux qui sont actuellement en service en France, doivent permettre d'atteindre la 15^e magnitude, mais

il faudrait auparavant prolonger la séquence des nébuleuses de comparaison.

Il est donc permis d'espérer, grâce à la méthode de SCHILT, un accroissement rapide du nombre des magnitudes connues de nébuleuses extragalactiques.

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] Ch. FABRY, *C. R. Ac. Sc.*, **150**, 1910, p. 273.
- [2] Ch. FABRY, *Annales d'Astroph.*, **6**, 1943, p. 65.
- [3] J. DUFAY, Thèse, *Bulletin de l'Observatoire de Lyon*, **10**, 1928, p. 1.
- [4] H. GROUILLER, Thèse, *Annales d'Astroph.*, **2**, 1939, p. 329.
- [5] C. FEHRENBACH, *Annales d'Astroph.*, **11**, 1948, p. 225.
- [6] A. DANJON et A. COUDER, *Lunettes et Télescopes*, p. 58.
- [7] Ch. FABRY, *C. R. Ac. Sc.*, **137**, 1903, p. 743.
- [8] H. SEARES, *Astroph. Journ.*, **87**, 1938, p. 257.
- [9] G. EBERHARD, *Handbuch der Astrophysik II*, **2**, 1931, p. 495.
- [10] A. SCHWASSMANN, *Bergedorfer Spektral-Durchmusterung I*, 1935.
- [11] P. C. KEENAN, *Astroph. Journ.*, **91**, 1940, p. 113.
- [12] M. L. HUMASON, *Contributions from the Mt. Wilson Observatory* 458 1932 = *Astroph. Journ.*, **76**, 1932, p. 224.
- [13] Ch. FABRY et H. BUISSON, *Journal de Physique*, 5^e série, **9**, 1919, p. 37.
- [14] A. LALLEMAND, *Revue d'Optique*, **15**, 1936, p. 109.
- [15] H. SHAPLEY and A. AMES, *Ann. Observ. Harvard College*, **88**, 1932, 2.
- [16] H. SHAPLEY, *Ann. Observ. Harvard College*, **88**, 1934, 4.
- [17] J. BIGAY, *L'Astronomie*, **59**, 1945, p. 137.
- [18] J. BIGAY, *C. R. Ac. Sc.*, **227**, 1948, p. 550.
- [19] E. HERTZSPRUNG, *Annalen van de Sterrewacht te Leiden*, Deel XIV, 1922, p. 5.
- [20] A. REIZ, *Annals of the Observ. of Lund*, **9**, 1941.
- [21] C. K. SEYFERT, *Harvard College Observatory, Circular* **403**, 1935.
- [22] P. C. KEENAN, *Astroph. Journ.*, **85**, 1937, p. 326.
- [23] A. E. WHITFORD, *Astroph. Journ.*, **83**, 1936, p. 424.
- [24] J. STEBBINS and A. E. WHITFORD, *Astroph. Journ.*, **86**, 1937, p. 247.
- [25] E. HUBBLE, *Astroph. Journ.*, **71**, 1930, p. 231.
- [26] R. O. REDMAN, *Monthly Not.*, **96**, 1936, p. 588.
- [27] R. O. REDMAN and E. G. SHIRLEY, *Monthly Not.*, **98**, 1938, p. 613.
- [28] G. DE VAUCOULEURS, *Annales d'Astroph.*, **11**, 1948, p. 247.
- [29] E. HOLMBERG, *Meddelande Från Lunds Astronomiska Observatorium*, Série 2, n° 128.
- [30] E. HUBBLE, *Astroph. Journ.*, **84**, 1936, p. 158.
- [31] W. BAADÉ, *Astroph. Journ.*, **100**, 1944, p. 137.
- [32] H. MINEUR, *L'Univers en Expansion, Actualités Scientifiques et Industrielles*, Hermann, 1933.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	2
--------------	---

PREMIÈRE PARTIE

PHOTOMÉTRIE PHOTOGRAPHIQUE DES NÉBULEUSES EXTRAGALACTIQUES PAR LA MÉTHODE DE FABRY

1. Principe	3
2. Dispositif instrumental	4
3. Étalonnage photométrique	8
4. Observations et mesures	11
5. Réduction des mesures	17

DEUXIÈME PARTIE

A. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.

6. Catalogue général des nébuleuses mesurées par la méthode de Fabry	23
7. Séquence photographique établie dans l'amas Virgo	31
8. Comparaison avec les résultats donnés par la méthode de la chambre à court foyer	32
9. Comparaison avec la méthode extrafocale	35
10. Comparaison avec la méthode photoélectrique	37
11. Comparaison avec les magnitudes tirées des enregistrements microphotométriques	39
Conclusions	39

B. UTILISATION DES RÉSULTATS.

12. Renseignements sur les magnitudes absolues et les dimensions des galaxies	40
13. Relation entre les magnitudes apparentes des nébuleuses et celles de leurs étoiles les plus brillantes	45
14. Influence, sur la structure du système métagalactique, de l'erreur systématique affectant les magnitudes apparentes des nébuleuses qui ont servi de base aux recherches statistiques	46
15. Relation vitesses radiales — magnitudes apparentes « Fabry »	47

TROISIÈME PARTIE

COMPARAISONS PHOTOMÉTRIQUES DES NÉBULEUSES ENTRE ELLES.

16. Introduction	49
17. Comparaison des nébuleuses par la méthode extrafocale	50
18. Essai d'une méthode de la Schraffierkassette simplifiée	50
19. La méthode de Schilt :	
A. — Conditions d'application	51
B. — Essais expérimentaux	53
C. — Magnitudes photographiques déterminées par la méthode de Schilt	57
CONCLUSION	63
BIBLIOGRAPHIE	64

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ :

Le télescope de Schmidt ; les instruments d'optique qui en dérivent.

Vu et approuvé :

Paris, le 12 Mai 1951

Pour le Doyen de la Faculté des Sciences,

L'ASSESEUR,

ROBERT LÉVY.

Vu et permis d'imprimer :

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

JEAN SARRAILH.

